

DOI:10.13870/j.cnki.stbxb.2024.01.013

韩 球, 陶德鑫, 史鲁彦. 黄河流域两大区域的土地生态安全动态评价及比较[J]. 水土保持学报, 2024, 38(1): 255-266, 277.

HAN Lu, TAO Dexin, SHI Luyan. Dynamic evaluation and comparison of land ecological security in the two regions of the Yellow River Basin[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2024, 38(1): 255-266, 277.

黄河流域两大区域的土地生态安全动态评价及比较

韩 球, 陶德鑫, 史鲁彦

(山东财经大学公共管理学院, 济南 250014)

摘 要: [目的] 探究山东半岛与黄河几字弯两大区域的土地生态安全水平差异, 为实现黄河流域生态保护与高质量发展, 推动“共同抓好大保护, 协同推进大治理”战略提供现实依据。[方法] 运用熵值法、核密度估计、马尔科夫链与障碍因子模型等方法, 对黄河流域两大区域的土地生态安全进行动态评价。[结果] (1) 在水平变化上, 两大区域的土地生态安全增速均呈“倒 U”形态势, 山东半岛的土地生态安全水平明显高于黄河几字弯, 但黄河几字弯的增长速度更快。(2) 在时间上, 两大区域土地生态安全均呈现“单核”演变特征, 山东半岛区域差异有扩大态势, 几字弯区域差异则有缩小态势。在空间上, 两大区域均呈现出“东中部高—西部低”的空间分布态势。(3) 动态演化特征上, 两大区域土地生态安全等级演变具有“路径依赖”与“自身锁定”效应。(4) 山东半岛土地生态安全受人均耕地面积、地均化肥农药施用量等影响; 黄河几字弯土地生态安全受景观破碎度、森林覆盖率等影响。[结论] 未来山东半岛与黄河几字弯既要根据区域优势分类施策, 也要从流域全局出发, 协同提升黄河流域土地生态安全水平。

关键词: 高质量发展; 土地生态安全; 时空特征; 障碍因子; 协同治理

中图分类号: F301.24

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242-(2024)01-0255-12

Dynamic Evaluation and Comparison of Land Ecological Security in the Two Regions of the Yellow River Basin

HAN Lu, TAO Dexin, SHI Luyan

(School of Public Administration and Policy, Shandong University of Finance and Economics, Jinan 250014, China)

Abstract: [Objective] This study intends to comprehensively explore the land ecological security situation of the Shandong Peninsula and Jiziwan of the Yellow River, provide a realistic basis for realizing the ecological protection and high-quality development of the Yellow River Basin and promoting the strategy of “jointly grasping the great protection and jointly promoting the great governance”. [Methods] The entropy method, kernel density estimation, Markov chain and obstacle factor model, and other methods were applied. [Results] (1) In terms of level change, the growth rate of land ecological security in the two regions was “inverted U” type. The level of land ecological security in Shandong Peninsula was obviously higher than that Jiziwan of the Yellow River, but the growth rate of Jiziwan of the Yellow River was faster. (2) In terms of time, the land ecological security of the two regions had the characteristics of “single core” evolution. The regional differences in Shandong Peninsula were expanding, while the regional differences in Jiziwan were narrowing. In space, the two regions showed a spatial distribution trend of “high in the middle east and low in the west”. (3) On the evolution characteristics, the evolution of land ecological security level in the two regions had the effects of “path dependence” and “self-locking”. (4) The ecological security of land in Shandong Peninsula was affected by the per capita cultivated land area and the average application amount of chemical fertilizers and pesticides. The ecological security of land in Jiziwan of the Yellow River was affected by landscape fragmentation and forest coverage. [Conclusion] In the future, Shandong Peninsula and Jiziwan

收稿日期: 2023-05-09

修回日期: 2023-06-12

录用日期: 2023-07-13

网络首发日期 (www.cnki.net): 2023-10-31

资助项目: 国家社会科学基金项目 (18BJY087); 国家自然科学基金项目 (71704094)

第一作者: 韩球 (1982—), 女, 博士, 副教授, 主要从事城市可持续发展与土地政策研究。E-mail: hanlu0816@126.com

通信作者: 韩球 (1982—), 女, 博士, 副教授, 主要从事城市可持续发展与土地政策研究。E-mail: hanlu0816@126.com

http://stbxb.alljournal.com.cn

of the Yellow River should not only classify and implement policies according to regional advantages, but also proceed from the overall situation of the basin to jointly improve the land ecological security level of the Yellow River Basin.

Keywords: high-quality development; land ecological security; temporal and spatial characteristics; factor obstacle; collaborative governance

Received: 2023-05-09

Revised: 2023-06-12

Accepted: 2023-07-13

Online(www.cnki.net): 2023-10-31

土地的生态状况直接影响到区域社会经济与资源环境等诸多方面的可持续发展。黄河流域是中国人口、资源、环境矛盾最为集中的区域之一,人地冲突问题日益凸显,土地的低效利用已严重影响其土地生态的健康协调发展^[1]。2021 年《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》提出要构建黄河流域“一轴两区五极”的发展动力格局,其中的“五极”主要包括山东半岛城市群与黄河几字弯都市圈在内的五大区域,这进一步明确了山东半岛和几字弯在资源高效利用和区域协调发展方面的核心作用^[2]。但两者均面临着不同的土地生态问题:前者作为人口密集区、粮食主产区与制造业集聚区,环境污染大、资源消耗高及动力不足的产业结构转型都将进一步加剧土地生态系统的恶化;后者作为能源储备战略区,本身生态环境基底就较为脆弱,加之粗放的资源密集型产业低端发展模式,对区域内土地生态系统造成持续威胁。城市群作为生态治理的载体,是促进流域高质量发展的重要推动力,山东半岛与几字弯作为黄河下游与中上游的两大核心区域,能更有代表性地反映黄河下游与中上游现阶段所面临的土地生态问题。因此,在当前“共同抓好大保护,协同推进大治理”的战略导向和高质量发展的诉求下,对两大区域的土地生态安全时空分异进行动态对比剖析,并试图总结其共性与个性,从而为综合提升黄河流域上中下游土地生态安全水平提供实践参考。

土地生态安全是生态安全的组成部分,是经济社会持续健康发展的重要保障。早期围绕土地生态安全的研究主要集中于内涵界定与定性调控^[3-4];随着城市化进程的不断推进,人地关系矛盾日益突出,土地生态问题相继出现,学者们围绕研究尺度、评价指标体系、评价方法等层面展开了土地生态安全的纵深研究。土地生态安全在研究尺度上,主要分为 2 类:一类是以行政区、经济区等行政区域为主,包括省域、市域、县域、城市群与经济带等^[5-8];另一类是以地理区、生态区等自然区域为主,包括流域、绿洲、山区、喀斯特地区等^[9-12]。现有研究多集中于某个区域的土地生态安全评价,鲜有对区域间土地生态安全测度与比较的研究。土地生态安全的评价指标体系主要借助概念模型(PSR、DPSIR)^[13-14]与框架模型(EES、

NES)^[15-16]等进行构建,有学者^[17-18]为了规避传统评价指标体系过于依赖社会经济统计资料的局限性,对评价指标体系进行了融合与改良,如将冻土稳定型分布、生态系统服务价值与景观生态安全指数等融入评价指标体系等。但着眼高质量发展内涵,综合多源数据构建土地生态安全评价指标体系的文献数量不多。土地生态安全的评价方法早期主要以数学模型与生态模型为主^[19-21]。随着生态环境问题的增加和可持续发展理念的兴起,在 GIS、RS 技术的支持下,景观生态模型逐渐引入到土地生态安全评价中,具体方法包括景观空间邻接度法和景观生态安全格局法和景观指数法等^[22]。

鉴于此,本文的边际贡献:一是选择黄河下游的山东半岛城市群(以下简称山东半岛),以及黄河中上游的新增长极—黄河几字弯都市圈(以下简称几字弯)为研究对象,对比分析两大区域土地生态安全时空演进特征,并探究其障碍因子的区域差异;二是紧扣高质量发展,选择多源数据,从平衡普惠、绿色生态、集约低碳、科技创新、开放发展 5 个维度构建土地生态安全评价指标体系,充实了土地生态安全的研究内容与理论基础。

1 研究方法 with 数据

1.1 研究区域

山东半岛位于 34°48'39"—37°30'47"N, 115°28'46"—122°07'13"E;几字弯位于 35°42'34"—40°37'16"N, 105°43'44"—113°22'02"E。山东半岛是流域内中唯一位于沿海地带的城市群,2020 年常住人口达 10 165 万人,地区生产总值为 73 129 亿元,人才资金要素聚集程度高,是流域内经济社会发展的龙头城市群;几字弯涉和山西和陕西等 5 个省市自治区内的城市,矿产丰富,主导产业以能源和制造业为主,是我国典型的能源化工基地。本研究拟通过对两者土地生态安全水平的比较分析,为黄河流域土地资源的高效利用与可持续发展提供参考,并借鉴已有研究^[23-24]划定两大区域研究范围,并结合数据的可获取性,选取 35 个城市作为研究对象(图 1)。

1.2 概念界定与指标体系构建

1.2.1 高质量发展视角下土地生态安全概念内涵

土地生态安全强调土地生态系统的安全状况,现有文

献多从 2 个方面对土地生态安全的概念进行阐释。第一,从土地生态系统自身^[25]出发,指代土地资源所在的生态环境,处于一种没有或很少受到污染威胁的

健康、平衡的状态;第二,从满足人类需求^[26]出发,强调一个国家或地区的土地资源能够对区域可持续发展提供良好的供给保障能力和生态服务。



注:山东半岛中,莱芜市于 2019 年并入济南,为保持研究统一性,不包含在内;几字弯中,二连浩特与宁东能源化工基地因数据可得性问题,不包含在内。

图 1 研究区概况

Fig. 1 Overview of the research area

高质量发展旨在打造以人为核心、以绿色发展为前提、以科技创新为核心动力的“经济社会—资源环境”协同发展良好局面。该背景下土地生态安全应具备的特征为:(1)普惠共享性。土地不仅要满足人类对美好生活、环境的需求,对社会发展所起到的基础性支撑作用,还要高质量发展时期逐渐扩大土地服务价值的共享范围。(2)可持续发展性。土地生态系统在保证自身健康状况的前提下,能稳定、可持续地为社会提供保障。(3)科技创新性。高质量发展强调依托人才、技术创新来培养经济增长新动能,高质量视角下土地生态安全水平的提高则侧重于需要人才、技术创新来优化土地利用行为,缓解、修复土地生态问题。(4)集约低碳性。强调将“粗放式、高碳排”的土地利用方式转化为“集约式、低碳排”的土地利用方式,既能保证土地生态系统的低污染,也符合高质量时期对经济社会的高效发展的要求。

综上,研究将高质量发展背景下土地生态安全的概念定义为在确保土地生态系统健康稳定的前提下,通过提升科技创新能力等途径,促使土地系统向土地

集约低碳化转型,提升土地资源服务能力,从而达到以更低的土地资源消耗和受污染风险、实现更高的土地生态环境绩效,更好为经济快速增长与社会分配公平服务目的。

1.2.2 高质量发展视角下土地生态安全评价指标体系构建 基于上述概念界定,参考、借鉴“五大发展理念”和已有文献^[6-12,14-20,27],构建集平衡普惠、绿色生态、集约低碳、科技创新、开放发展 5 个准则层 10 个要素层 37 个指标的土地生态安全评价指标体系(表 1)。(1)平衡普惠表现在土地资源对人类生存发展需求的支撑作用,是土地生态安全的起点与终点。其中资源分配代表土地服务价值的共享性,选取人均用地类指标与人均 GDP、人均粮食产量等指标表示;民生福祉代表土地资源对公共服务以及人民生活水平的改善,选取医疗卫生机构床位数、城乡收入比、城镇化率等指标表示。(2)绿色生态体现人与自然的和谐状态。其中绿色生态基底代表区域土地资源禀赋与可持续发展能力,选取香浓多样性指数、景观破碎度、森林覆盖率、年均降水量等指标表示;绿色生态绩效代

表人类为缓解土地生态问题所作出的治理行为,选取环境规制指数、工业三废排放量、工业固体废物综合利用率等指标表示。(3)集约低碳主要通过经济、社会、生态的高效化指标表示人类为提高土地生态服务的可持续能力所做出的优化资源利用的措施,选取产业结构高级化、地均工业产值、地均财政收入等指标表示;低碳利用代表土地利用中生态的高效化,即“低污染、低碳排”,选取地均碳排放量、单位 GDP 能耗、地均化肥农药施用量等指标表示。(4)科技创新是提

升土地生态安全的核心动力。其中创新人才用研究与试验发展(R&D)人员数量表示;技术水平用绿色专利申请数量、研究与试验发展(R&D)人员数量等指标表示。(5)开放发展表现在土地生态系统需要通过区域间的资源流动,提高优质资金、技术等生产要素的配置效率,进而提升土地生态系统的服务支撑能力。其中投资开发度用外商直接投资额度和外商投资项目数等指标表示,贸易开放度用进出口总额占 GDP 比重表示。

表 1 土地生态安全评价指标体系

Table 1 Evaluation index system of land ecological security

目标层	准则层	要素层	指标层	指标属性	权重
土地生态安全评价指标体系	平衡普惠	资源分配	C1 人均耕地面积	+	0.030
			C2 人均建设用地面积	+	0.026
			C3 人均绿地面积	+	0.030
			C4 人均 GDP	+	0.027
			C5 人均粮食产量	+	0.029
		民生福祉	C6 人均城市道路面积	+	0.027
			C7 医疗卫生机构床位数	+	0.024
			C8 在校大学生数	+	0.023
			C9 城乡收入比	-	0.027
			C10 城镇化率	+	0.026
			C11 景观形状指数	-	0.028
	绿色生态	绿色生态基底	C12 香浓多样性指数	+	0.028
			C13 景观破碎度	-	0.030
			C14 建成区绿化率	+	0.028
			C15 森林覆盖率	+	0.028
			C16 年均降水量	+	0.024
		绿色生态绩效	C17 环境规制指数	+	0.029
			C18 工业三废排放量	-	0.027
			C19 生活垃圾无害化处理率	+	0.026
			C20 工业固体废物综合利用率	+	0.028
			C21 污水处理率	+	0.026
		集约利用	C22 产业结构高级化	+	0.027
			C23 地均固定资产投资额	+	0.028
			C24 地均工业产值	+	0.027
			C25 地均二三产业就业人数	+	0.028
	集约低碳	低碳利用	C26 地均财政收入	+	0.027
			C27 地均社会品消费额	+	0.029
			C28 地均碳排放量	-	0.030
			C29 单位 GDP 能耗	-	0.030
			C30 地均化肥农药施用量	-	0.029
			C31 地均农业机械总动力	-	0.027
	科技创新	创新人才	C32 研究与试验发展(R&D)人员数量	+	0.028
		技术水平	C33 绿色专利申请数量	+	0.030
			C34 研究与试验发展(R&D)内部支出	+	0.029
	开放发展	投资开发度	C35 外商直接投资额度	+	0.029
		贸易开放度	C36 外商投资项目数量	+	0.015
			C37 进出口总额占 GDP 比重	+	0.016

1.3 研究方法

1.3.1 熵值法 客观熵权法是依据各项指标的变异等级确定其指标权数,其中信息熵能准确地反映出指标

的信息量,能够更科学、客观地解释所得到的结果^[28]。因此,本研究运用该方法来测度山东半岛与几字弯两大区域土地生态安全水平,具体各指标权重见表 2。

表 2 各指标描述性统计
Table 2 Descriptive statistics of each index

变量	山东半岛城市群			几字弯都市圈		
	观察值	平均值	标准差	观察值	平均值	标准差
C1 人均耕地面积/(hm ² ·人 ⁻¹)	81	0.08	0.02	96	0.18	0.10
C2 人均建设用地面积/(km ² ·人 ⁻¹)	81	0.85	0.43	96	1.08	0.83
C3 人均绿地面积/(m ² ·人 ⁻¹)	81	10.14	5.70	96	9.31	7.84
C4 人均 GDP/元	81	45 348	34 912	96	42 215	40 736
C5 人均粮食产量/(kg·人 ⁻¹)	81	508.66	225.74	96	474.26	264
C6 人均城市道路面积/(m ² ·人 ⁻¹)	81	4.99	3.45	96	4.76	5.22
C7 医疗卫生机构床位数/张	81	24 943	15 847	96	8 636	5 680
C8 在校大学生数/个	81	100 574	137 936	96	24 558	45 111
C9 城乡收入比	81	2.36	0.33	96	2.73	0.65
C10 城镇化率/%	81	53.6	21.23	96	42.1	15.42
C11 景观形状指数	81	21.63	5.56	96	27.06	11.38
C12 香浓多样性指数	81	1.54	0.43	96	1.02	0.23
C13 景观破碎度	81	0.15	0.05	96	0.06	0.02
C14 建成区绿化率/%	81	38.64	6.77	96	29.98	12.33
C15 森林覆盖率/%	81	30.45	7.21	96	18.19	10.92
C16 年均降水量/mm	81	616.02	162.5	96	310.06	131.95
C17 环境规制指数	81	0.002	0.001	96	0.003	0.003
C18 工业三废排放量/万 t	81	9 599	5 307	96	2 722	1 739
C19 生活垃圾无害化处理率/%	81	92.89	10.95	96	73.34	27.94
C20 工业固体废物综合利用率/%	81	92.36	7.18	96	59.08	26.14
C21 污水处理率/%	81	77.32	23.46	96	68.81	27.11
C22 产业结构高级化/%	81	88.35	7.51	96	74.32	7.14
C23 地均固定资产投资额/(万元·km ⁻²)	81	95 649	61 681	96	102 963	117 814
C24 地均工业产值/(元·km ⁻²)	81	287 299	231 843	96	164 286	187 725
C25 地均二三产业就业人数/(人·km ⁻²)	81	5 057	2 719	96	4 687	3 650
C26 地均财政收入/(万元·km ⁻²)	81	10 730	6 650	96	11 840	13 946
C27 地均社会品消费额/(元·km ⁻²)	81	61 285	34 282	96	37 851	35 468
C28 地均碳排放量/(km ² ·万 t ⁻¹)	81	0.12	0.09	96	0.06	0.140
C29 单位 GDP 能耗/(亿元·万 t ⁻¹)	81	0.09	0.11	96	0.17	0.20
C30 地均化肥农药施用量/(t·hm ⁻²)	81	0.64	0.14	96	0.31	0.21
C31 地均农业机械总动力/(kW·hm ⁻²)	81	14.54	4.48	96	5.79	4.40
C32 研究与试验发展(R&D)人员数量/个	81	17 013	17 959	96	2 222	3 244
C33 绿色专利申请数量/个	81	328	612	96	47	93
C34 研究与试验发展(R&D)内部支出/万元	81	526 632	596 733	96	68 680	99 918
C35 外商直接投资额度/万美元	81	470 911	778 928	96	89 750	187 852
C36 外商投资项目数量/个	81	545	502	96	238	214
C37 进出口总额占 GDP 比重/%	81	0.23	0.22	96	0.06	0.06

土地生态安全等级未形成统一标准,通过综合实际测算水平和借鉴其他学者^[29-30]对黄河流域生态安全等级的研究,将土地生态安全等级定义为恶化级、

风险级、敏感级、临界安全级、一般安全级、比较安全级和非常安全级 7 个等级(表 3)。

表 3 土地生态安全等级评定标准
Table 3 Evaluation standard of land ecological security grade

安全状态	恶化级	风险级	敏感级	临界安全级	一般安全级	比较安全级	非常安全级
安全等级	I	II	III	IV	V	VI	VII
安全指数	0~0.25	0.25~0.35	0.35~0.45	0.45~0.55	0.55~0.65	0.65~0.75	0.75~1.00

1.3.2 核密度估计 核密度估计是一种非参数方法,用来探究随机变量概率密度,能够反映黄河流域耕地利用生态效率的动态演进特征,对于 $X_1, X_2, \dots, X_N$ 等独立分布样本,随机变量在 X 处的概率密度估计公式为:

$$f(x) = \frac{1}{Nh} \sum_{i=1}^n K \left[\frac{X_i - x}{h} \right] \quad (1)$$

式中: N 为样本总量; h 为密度估计宽度; K 为随机核函数。

1.3.3 马尔科夫链 土地生态安全等级之间会相互转化,土地生态安全格局的动态变化符合马尔科夫过程,能够有效反映等级的变化过程。具体为:

$$M = \begin{pmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{1q} \\ M_{21} & M_{22} & M_{2q} \\ \dots & \dots & \dots \\ M_{p1} & M_{p2} & M_{pq} \end{pmatrix} \quad (2)$$

式中: M_{pq} 为时间年份 t 中地生态安全等级为 p 的城市转换到安全等级为 q 的概率, $M_{pq} = \frac{C_{pq}}{C_p}$, 其中 C_{pq} 为年份 t 中安全等级为 p 类型的城市下 1 年转移到 q 安全等级的所有城市之和; C_p 为所有年份中属于 p 安全类型城市之和。

1.3.4 障碍因子诊断 障碍度模型作为诊断区域生态安全的重要方法,已在诸多领域得到应用。障碍度模型包括因子贡献度(R_j)、指标偏离度(P_{ij})、障碍度(M_{ij})3 个指标。

$$M_{ij} = \frac{R_j \times P_{ij}}{\sum_{j=1}^n (R_j \times P_{ij})} \times 100\% \quad (3)$$

式中: M_{ij} 为第 j 项指标对第 i 年土地生态安全的障碍度; R_j 为各项指标的权重; $P_{ij} = 1 - y_{ij}$ 为指标与发展目标之间的偏差; y_{ij} 为各指标的标准化值。

1.4 数据来源及处理

研究数据大部分来源于 2001 年、2006 年、2011 年、2016 年、2021 年《中国城市统计年鉴》^[31]《山东统计年鉴》^[32]《甘肃发展年鉴》^[33]《宁夏统计年鉴》^[34]《内蒙古统计年鉴》^[35]《陕西统计年鉴》^[36]和《山西统计年鉴》^[37]。其中景观数据通过 Fragstats 4.2 软件计算,土地利用现状遥感监测数据(分辨率为 1 km)来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>);环境规制指数借助相关文献^[38],从各城市历年政府工作报告中选取环保相关词汇得出;产业结构高级化借助已有文献^[39],采用第三、第二产业产值比重之和来衡量各城市产业高级化程度,其值在 0~1,越接近 1,表明产业结构高级化程度越高;地均碳排放量借鉴相关学者^[40]的计算公式以及相关系

数,将电能、煤气和液化石油气、交通运输、热能消耗产生的碳排放相加便得到城市的碳排放量;绿色专利申请量数据来源于国家知识产权局的专利检索数据库,并利用国际专利分类绿色清单检索环境友好型技术相关专利信息的做法,识别各个城市的绿色专利信息;外商直接投资度经汇率调整为以人民币计价。其他数据均来源于相应年份的统计年鉴。

2 山东半岛与几字弯土地生态安全比较分析

2.1 两大区域土地生态安全水平比较

2.1.1 整体水平比较 基于熵值法,并与国民经济五年规划相结合,选取 2000 年、2005 年、2010 年、2015 年、2020 年作为研究剖面,测度山东半岛与几字弯土地生态安全水平的变化特征(表 4)。从土地生态安全整体水平的变化来看,山东半岛 2000 年、2005 年、2010 年、2015 年、2020 年的土地生态安全水平均高于几字弯,这与黄河流域在经济发展水平上呈现的“下游发达—中游崛起—上游落后”发展格局相对应,表明黄河流域上中下游间土地生态安全区域差异显著。

表 4 2000—2020 年山东半岛与黄河几字弯土地生态安全水平及增长率

Table 4 Land ecological security level and growth rate of Shandong Peninsula and Jiziwan of Yellow River from 2000 to 2020

地区	年份	土地生态安全水平	增长率/%
山东半岛	2000	0.331 7	
	2005	0.364 5	9.89
	2010	0.410 2	12.54
	2015	0.456 1	11.19
	2020	0.470 1	3.07
几字弯	2000	0.294 6	
	2005	0.320 1	8.66
	2010	0.372 7	16.43
	2015	0.412 4	10.65
	2020	0.431 0	4.51

从土地生态安全水平的演进过程来看,两大区域均呈持续上升趋势。山东半岛由 2000 年的 0.331 7 上升到 2020 年的 0.470 1,几字弯由 2000 年的 0.294 6 上升到 2020 年的 0.431 0。从土地生态安全水平的增长速度来看,研究期内几字弯土地生态安全的年均增长率要快于山东半岛,且两大区域土地生态安全的增长速度均呈倒“U”形,其中在 2000—2010 年增速持续上升,2010—2020 年增速下降。这是由于两大区域前期依靠资金的规模化投入与政策导向使其增速加剧,而伴随快速城镇化、工业化,两大区域均面临建设用地需求增大及“高投入—高消耗—高污染”的传

统粗放型发展模式等问题,资源环境承载力面临较大压力,导致其土地生态安全水平的增速放缓(表 3)。

2.1.2 准则层水平比较 从土地生态安全准则层水平的变化趋势看:(1)平衡普惠与绿色生态呈现协同共进的特征(图 2)。两大区域的平衡普惠水平分别从 2000 年的 0.042 3 和 0.045 0 提升到 2020 年的 0.095 5 和 0.085 6。山东半岛的人均 GDP、城乡收入比、医疗卫生机构床位数 3 个指标明显变好,几字弯主要在于人均绿地面积与人均道路面积的不断增加,这表明两大区域土地资源的服务分配价值对居民生活水平起到改善作用。两大区域的绿色生态水平分别从 2000 年的 0.163 4 和 0.118 1 提升到 2020 年的

0.193 7 和 0.181 0,且几字弯(11.38%)的年均增长率快于山东半岛(4.37%),两区域间绿色生态水平有缩小趋势。(2)集约低碳、科技创新与开放发展呈现两级分化的特征(图 2)。从集约低碳水平看,山东半岛集约低碳水平低于几字弯,山东半岛集约低碳水平从 2000 年的 0.121 0 上升到 2015 年的 0.151 3,在 2020 年又下降到 0.141 1;而几字弯集约低碳水平则从 2000 年的 0.129 3 持续上升到 2020 年的 0.159 1。从科技创新与开放发展水平看,山东半岛远高于几字弯,且差距不断扩大,这与已有学者^[41]研究结果一致,即越靠近黄河上游的城市群,其创新与开放能力就越低,对黄河流域的辐射能力就越弱。

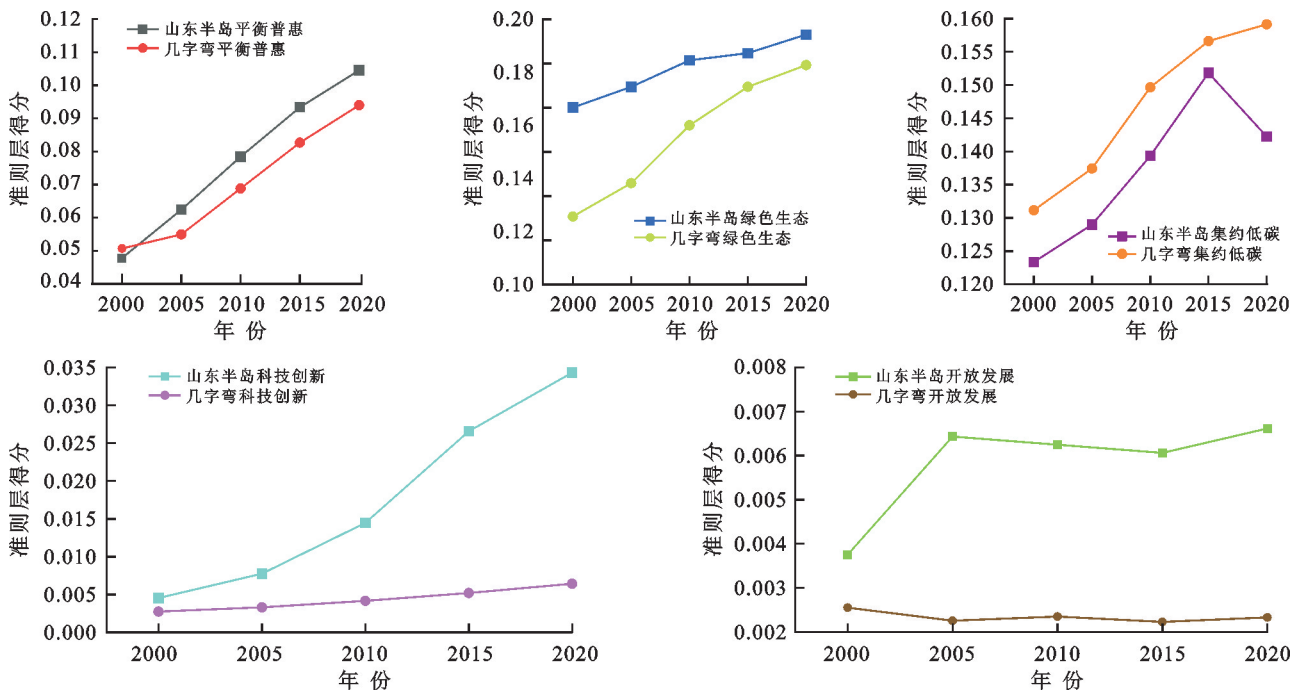


图 2 2000—2020 年山东半岛与黄河几字弯土地生态安全准则层水平变化

Fig. 2 Level change of the land ecological security criterion layer in Shandong Peninsula and Jiziwan of Yellow River from 2000 to 2020

2.2 两大区域土地生态安全时空特征比较

2.2.1 时序演化特征比较 为进一步揭示山东半岛与几字弯土地生态安全的时序特征,选取 2000 年、2005 年、2010 年、2015 年、2020 年进行核密度分析(图 3)。从重心位置来看,2000—2020 年两大区域核密度曲线均向右偏移,表明两者的土地生态安全水平均在不断提升。从分布形态来看,两大区域的核密度曲线一直呈现单峰特征,表明两大区域土地生态安全水平发展差距较为缓和,并未出现两级分化现象,其中山东半岛右侧拖尾明显,说明区域内土地生态安全水平高值区仍在增加。

从曲线峰度来看,山东半岛核密度曲线主峰高度先升后降,波峰宽度先宽后窄又宽,表明山东半岛区域差异呈先缩小又扩大的态势;几字弯核密度曲线波

峰高度先下降后上升,波峰宽度先宽后窄,表明几字弯区域差异呈先扩大后缩小的态势。

2.2.2 空间分布特征比较 本研究进一步运用 ArcGIS 10.3 软件对两大区域土地生态安全水平进行空间可视化处理。

由图 4 可知,山东半岛土地生态安全等级位于风险级到一般安全级之间,几字弯土地生态安全等级位于恶化到临界安全级之间。总体上两大区域土地生态安全状况堪忧,但都具有向良好方向迈进的趋势。具体来看,2000—2005 年两大区域土地生态安全等级主要以风险级为主,并存在一定数量的敏感级城市,主要集中在山东半岛的济南、青岛、烟台等城市;2005—2015 年两大区域土地生态安全等级主要以敏感级为主,并存在一定数量的临界安全级城市,多集

中在山东半岛的鲁东与鲁中地区及几字弯中部的鄂尔多斯市;至 2020 年,山东半岛土地生态安全等级以临界安全级为主,青岛上升为一般安全级,而几字弯还是维持敏感级为主,东部少数地区上升为临界安全级。

以上分析表明,山东半岛与几字弯土地生态安全

等级较研究初期提升明显,山东半岛以临界安全级为主,敏感级数量不断减少;几字弯以敏感级为主,临界安全级数量增长较慢,且两大区域土地生态安全等级均呈现出“东中部高一西部低”的空间分布特征,未来应加强城市间的生态保护机制联系,实现不同区域间的融合发展与优势互补。

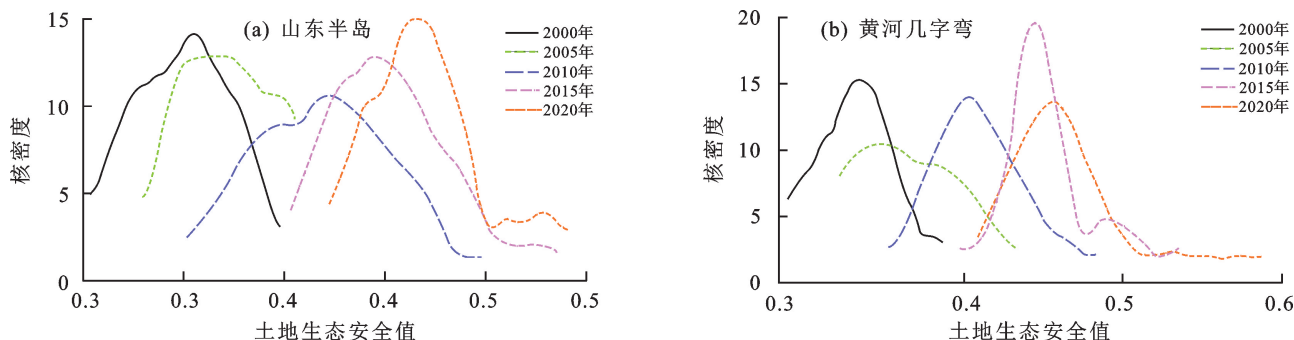


图 3 山东半岛与黄河几字弯土地生态安全核密度分析

Fig. 3 Analysis of ecological security nuclear density of land in Shandong Peninsula and Jiziwan of Yellow River

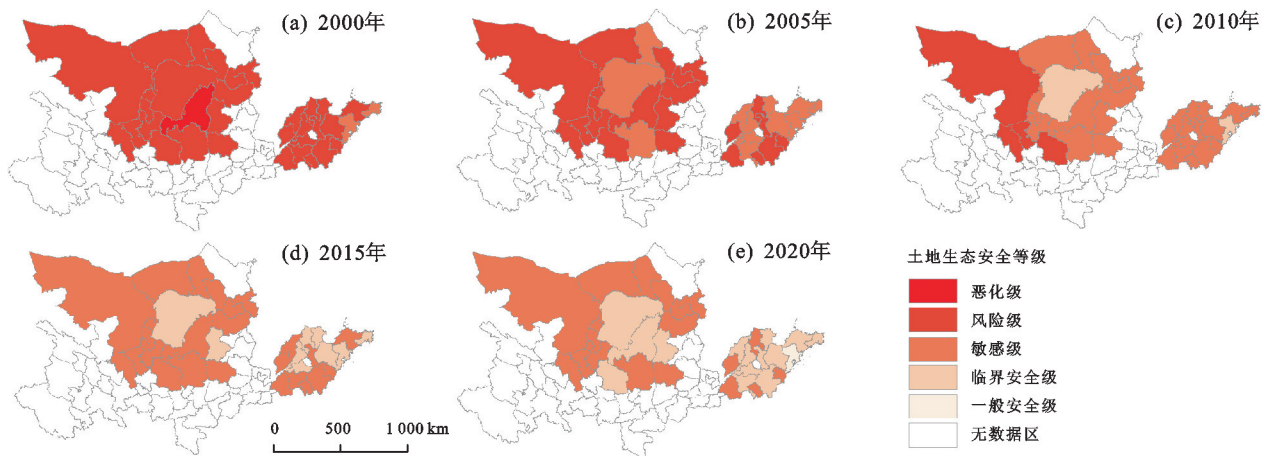


图 4 2000—2020 年山东半岛与黄河几字弯土地生态安全空间分布特征

Fig. 4 Spatial distribution characteristics of land ecological security of Shandong Peninsula and Jiziwan of Yellow River from 2000 to 2020

2.2.3 动态演变特征演变比较 上述研究揭示了山东半岛与几字弯的时空演变特征,但在时空演变过程中存在怎样的动态转移规律,需进一步探究。因此,研究运用传统马尔科夫链来揭示山东半岛与几字弯土地生态安全等级的动态演变特征。对角线位置的数据代表各城市土地生态安全等级不发生转移的可能性,非对角线位置上的数据代表各城市土地生态安全等级发生转移的可能性(表 5)。由此看出:(1)研究期内山东半岛与几字弯对角线上的数值普遍高于非对角线上的数值,表明两大区域土地生态安全等级维持原有等级的概率较大,等级类型转移具有“路径依赖”与“自身锁定”效应。(2)对角线上的土地生态安全等级随着等级的增高,其保持原有等级的概率也在不断增高,表明等级越高,转变难度也就越大,未来应主动引导敏感级和一般安全级向上转移。(3)两大

区域土地生态安全等级若发生变化,都是向上或向下转移一个等级,不存在跨等级的跳跃式发展,即处于一个循序渐进的发展过程。

3 山东半岛与几字弯土地生态安全障碍因子识别

3.1 要素层障碍因子

对各年份山东半岛与几字弯各要素层的障碍因子进行分析(表 6)表明,2000—2020 年山东半岛要素层中,资源分配是目前阻碍其土地生态安全的关键因素,低碳利用、绿色生态基底、技术水平对山东半岛土地生态安全也有较强的阻碍作用。障碍度相对较低的有福利提升、绿色生态绩效、集约利用、创新人才、投资开发度与外贸依存度,说明社会公平、生态治理、土地利用效率提升、开放发展等问题已得到普遍重

视,为实现土地生态安全提供了有力支撑。

2000—2020 年几字弯要素层中,技术水平是阻碍其土地生态安全的关键因素,绿色生态基底、低碳

利用、资源分配、民生福祉对黄河几字弯土地生态安全也有较强的阻碍作用。障碍度较低的有绿色生态绩效、集约利用、创新人才、投资开发度与外贸依存度。

表 5 2000—2020 年两大区域土地生态安全等级概率转移矩阵

Table 5 Probability transfer matrix of land ecological security grades in two regions from 2000 to 2020							
时间跨度	地区	安全等级	恶化级	风险级	敏感级	临界安全级	一般安全级
T=1	山东半岛	恶化级	0	0	0	0	0
		风险级	0	0.042	0.083	0	0
		敏感级	0	0	0.079	0.046	0
		临界安全级	0	0	0.016	0.094	0.016
		一般安全级	0	0	0	0	0
	几字弯	恶化级	0	0	0	0	0
		风险级	0	0.525	0.475	0	0
		敏感级	0	0	0.875	0.125	0
		临界安全级	0	0	0	1	0
		一般安全级	0	0	0	0	0

表 6 山东半岛与几字弯土地生态安全要素层障碍因子及障碍度

Table 6 Obstacle factors and obstacle degree of land ecological security elements in Shandong Peninsula and Jiziwan of Yellow River

地区	年份	资源分配	民生福祉	绿色生态基底	绿色生态绩效	集约利用	低碳利用	创新人才	技术水平	投资开发度	外贸依存度
山东半岛	2000	22.85	11.09	12.00	8.73	5.00	19.12	4.06	13.01	2.16	1.99
	2005	22.74	10.87	12.27	8.10	5.71	19.03	3.89	13.48	2.04	1.87
	2010	22.69	10.98	11.96	7.77	6.06	18.60	3.81	13.87	2.30	1.96
	2015	23.75	10.08	13.15	7.62	6.82	17.26	3.49	13.18	2.32	2.32
	2020	23.66	9.13	13.18	7.43	6.49	20.30	3.51	11.72	2.36	2.20
黄河几字弯	2000	10.44	10.86	19.39	11.71	4.25	14.33	3.94	20.91	2.12	2.05
	2005	10.88	11.20	18.88	10.40	4.77	14.23	4.06	21.19	2.18	2.21
	2010	11.25	12.01	18.64	8.68	4.86	14.17	4.37	21.25	2.32	2.45
	2015	12.08	11.74	18.30	7.35	5.27	14.41	4.61	21.13	2.47	2.64
	2020	12.13	11.25	18.87	6.61	5.28	14.79	4.75	21.08	2.57	2.67

3.2 指标层障碍因子

从 2000—2020 年山东半岛前 5 位的障碍因子(表 7)来看,研究期内制约山东半岛土地生态安全水平提升的主要障碍因子为绿色专利申请量(C33)、人均 GDP(C4)、人均耕地面积(C1)、地均碳排放量(C28)、地均化肥农药施用量(C30)、香浓多样性指数(C12)。从障碍因子的作用强度来看,人均 GDP(C4)、地均化肥农药施用量(C30)、绿色专利申请量(C33)的阻碍程度不断下降,表明随着山东半岛经济发展、资源节约、环境保护三者的协调共行,产业结构

逐渐优化,绿色创新能力不断提高,绿色农业发展效果显著。人均耕地面积(C1)、香浓多样性指数(C12)、地均碳排放量(C28)的阻碍强度有逐渐增大的趋势。近年来山东半岛随着加速城镇化,部分优质耕地被建设用地占用,在有限的耕地资源条件下产出更多的农产品,这使耕地一直处于高强度的开发利用状态,导致其生态系统较为脆弱;其次山东半岛的资源型城市能源消费较高,其高碳行业的碳排放问题突出,在带来经济增长的同时也带来了环境污染、生态破坏等问题。

表 7 山东半岛土地生态安全指标层障碍因子及障碍度

Table 7 Obstacle factors and obstacle degree of land ecological security index layer in Shandong Peninsula

年份	第 1 位		第 2 位		第 3 位		第 4 位		第 5 位	
	障碍因素	障碍度/%	障碍因素	障碍度/%	障碍因素	障碍度/%	障碍因素	障碍度/%	障碍因素	障碍度
2000	C33	4.59	C4	4.32	C3	3.89	C30	3.74	C15	3.71
2005	C33	4.62	C4	4.34	C30	4.02	C3	3.82	C17	3.74
2010	C33	4.53	C1	4.18	C30	4.08	C28	3.85	C4	3.77
2015	C1	4.35	C28	4.16	C33	3.95	C30	3.87	C5	3.75
2020	C1	4.37	C28	4.19	C33	3.91	C30	3.84	C12	3.72

从 2000—2020 年几字弯前 5 位的障碍因子(表 8)来看,制约其土地生态安全水平提升的主要障碍因子为绿色专利申请量(C33)、人均 GDP(C4)、研究与试验发展(R&D)内部支出(C34)、工业三废排放量(C18)、森林覆盖率(C15)、景观破碎度(C13)、地均碳排放量(C28)。

从作用强度来看,绿色专利申请量(C33)与研究试验发展(R&D)内部支出(C34)的障碍度虽然不断下降,但仍是影响几字弯土地生态安全的重要障碍因子,这与黄河上游与中游地区整体面临着科技创新

能力不足等问题有关,无法为土地生态安全的改善提供足够支撑。人均 GDP(C4)、森林覆盖率(C15)、工业三废排放量(C18)的阻碍程度不断下降,表明几字弯随着经济发展,环境治理投资与生态工程建设的力度也在增大。景观破碎度(C13)与地均碳排放量(C28)的障碍度不断增加,说明了几字弯的土地生态系统受城镇化、工业化、人口压力等人为要素干扰频繁,同时该地区虽然能源富足,但存在粗放资源加工和初级加工,导致产生大量的碳排放,加剧土地生态系统的脆弱性。

表 8 黄河几字弯土地生态安全指标层障碍因子及障碍度

Table 8 Obstacle factors and obstacle degree of land ecological security index layer in Jiziwan of Yellow River

年份	第 1 位		第 2 位		第 3 位		第 4 位		第 5 位	
	障碍因素	障碍度/%	障碍因素	障碍度/%	障碍因素	障碍度/%	障碍因素	障碍度/%	障碍因素	障碍度
2000	C33	4.63	C4	4.52	C34	4.40	C29	4.28	C18	4.16
2005	C33	4.68	C4	4.54	C34	4.43	C13	4.29	C15	4.21
2010	C33	4.61	C13	4.47	C15	4.36	C4	4.31	C34	4.24
2015	C33	4.46	C13	4.35	C15	4.29	C28	4.16	C4	4.11
2020	C33	4.31	C13	4.26	C28	4.22	C15	4.17	C34	4.06

4 讨论

整体来看,黄河流域存在水土流失严重、生态环境敏感脆弱等问题,不稳定的自然条件和高强度的开发活动导致黄河流域可利用土地资源供给不足,土地生态安全面临威胁。伴随着人口增长和城市群迅速扩张,土地资源存在的供需缺口使黄河流域人地矛盾日益凸显。因此,正确处理人地矛盾是推动黄河流域可持续发展的关键^[42]。流域内的“一轴两区五极”,由于区位条件与资源禀赋差异,其土地生态安全水平迥异。因此,聚焦山东半岛和黄河几字弯两大区域,探讨黄河下游与黄河中上游生态安全动态演进特征与区域差异,对黄河流域土地资源可持续利用具有积极意义。要实现流域内土地生态安全统筹发展,首先,需要控制山东半岛人口集聚趋势,打通流域人才流动通道;探索新旧动能转换方式,如开发利用潮汐能、生物能等新型清洁能源,遏制碳排放量的持续增长,实现山东半岛土地利用向绿色低碳化转型。其次,加快几字弯绿色产业布局,积极探索煤炭、天然气等重点产业零碳转型新路径,实施产业生态化战略;推进生态修复治理工程建设,统筹现有重点河湖、生态源地的生态修复与保护,引入生态治理新技术,搭建数字监测管理平台,开展大气、土壤等全方面生态治理工作。最后,加强区域之间的合作深度,打破“信息孤岛”现象,促进流域生产要素的自由流动与交换,促进流域内产业数字化转型,实现流域产业链再造,并在基础设施、创新环境、生态保护等方面构成互联互通网络,以此动力源带动欠发达地区高质量发展,

从而打造新的沿黄增长极,提高黄河流域国际产业地位的同时也为“一带一路”建设助力。

5 结论

(1)在整体水平的变化上,两大区域既有共性也有特性。共性在于两者的土地生态安全水平的增速均呈“倒 U”形,特性在于山东半岛土地生态安全水平明显高于几字弯,但几字弯的增长速度更快。在准则层水平的时间变化特征上,两者的平衡普惠、绿色生态水平呈协同共进的特征,但在集约低碳、科技创新、开放发展水平呈现出两级分化。

(2)在时间演化特征上,山东半岛与几字弯的核密度曲线一直呈现“单峰”特征,山东半岛区域差异呈先缩小又扩大的态势,几字弯区域差异呈先扩大后缩小的态势。在空间分布上,山东半岛以临界安全级为主,几字弯以敏感级为主,且均呈现出“东中部高一西部低”的空间分布趋势。

(3)动态演变特征上,两大区域土地生态安全等级维持原有等级的概率较大,等级类型转移具有“路径依赖”与“自身锁定”效应,且不存在跨等级的跳跃式发展,处于一个循序渐进的发展过程。

(4)在要素层障碍因子上,资源分配对山东半岛土地生态安全阻碍作用最大,而技术水平则是几字弯的最大障碍因素。在指标层障碍因子上,两大区域土地生态安全均受到人均 GDP、绿色发明专利申请量、地均碳排放的阻碍,但山东半岛还受人均耕地面积、地均化肥农药施用量的制约;几字弯则受景观破碎度、森林覆盖率、工业三废排放量等影响。

上述结论表明,山东半岛城市群与黄河几字弯都市圈的土地生态安全水平在时序演进、空间分布及动态演变特征上具有一定的相似性,但在城市群内部准则层水平变化和障碍因子上有所差异。未来山东半岛与黄河几字弯既要根据区域优势分类施策,也要从流域全局出发,协同提升黄河流域土地生态安全水平。

参考文献:

- [1] 张仲伍,畅田颖,高鑫.黄河流域生态经济协调发展研究[J].地域研究与开发,2021,40(3):25-30,36.
ZHANG Z W, CHANG T Y, GAO X. Analysis of eco-economic coordination of Yellow River Basin[J]. Areal Research and Development, 2021, 40(3): 25-30, 36.
- [2] 新华社.中共中央 国务院印发《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》[J].中华人民共和国国务院公报, 2021(30):15-35.
XINHUA NEWS AGENCY. The central committee of the CPC and the state council print and issue the outlines for the plan for ecological protection and high-quality development of the Yellow River Basin[J]. Gazette of the State Council of the People's Republic of China, 2021 (30): 15-35.
- [3] FU B J, LIU S L, LU Y H, et al. Comparing the soil quality changes of different land uses determined by two quantitative methods[J]. Journal of Environmental Sciences (China), 2003, 15(2): 167-172.
- [4] 崔峰.我国土地生态安全问题管窥[J].南京农业大学学报(社会科学版), 2006, 6(4): 51-56.
CUI F. On land ecological safety in China[J]. Journal of Nanjing Agricultural University (Social Sciences Edition), 2006, 6(4): 51-56.
- [5] LIU J H, CAO X Y, ZHAO L S, et al. Spatiotemporal differentiation of land ecological security and its influencing factors: A case study in Jinan, Shandong Province, China[J]. Frontiers in Environmental Science, 2022, 10: e824254.
- [6] 柳建玲,李胜鹏,范胜龙.脱贫期间诏安县土地生态安全时空演化[J].生态科学, 2021, 40(4): 130-138.
LIU J L, LI S P, FAN S L. Spatiotemporal evolution of land ecological security in Zhao'an County during poverty alleviation[J]. Ecological Science, 2021, 40(4): 130-138.
- [7] 郭冬艳.京津冀土地生态安全与经济高质量发展耦合协调研究[D].长春:吉林大学, 2022.
GUO D Y. Coupling coordination of land ecological security and high-quality economic development in the Beijing-Tianjin-Hebei Region[D]. Changchun: Jilin University, 2022.
- [8] 黄烈佳,杨鹏.长江经济带土地生态安全时空演化特征及影响因素[J].长江流域资源与环境, 2019, 28(8): 1780-1790.
HUANG L J, YANG P. Spatio-temporal evolution characteristics and influencing factors of land ecological security in the Yangtze River economic belt[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2019, 28(8): 1780-1790.
- [9] 刘胜峰,闫文德.漓江流域土地生态安全时空分异及其影响因素[J].中南林业科技大学学报, 2021, 41(11): 136-151.
LIU S F, YAN W D. Spatio-temporal variation of land ecological security and its influencing factors in Lijiang River Basin[J]. Journal of Central South University of Forestry and Technology, 2021, 41(11): 136-151.
- [10] 麦丽开·艾麦提,满苏尔·沙比提,张雪琪,叶尔羌河平原绿洲土地生态安全预警演变与时空格局分析[J].中国农业资源与区划, 2020, 41(7): 75-84.
IKA A, MANSUR S, ZHANG X Q. Analysis on the evolvement and spatio-temporal pattern of land ecological security early warning in Yarkant River Plain oasis[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2020, 41(7): 75-84.
- [11] 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.
LI Z J, WANG S, MA L, et al. Evaluation of land ecological security and influencing factors in Yimeng-Mountain area based on entropy weight matter element model[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2021, 52(2): 425-433.
- [12] 杨林,汪磊.基于主成分聚类分析的喀斯特地区土地生态安全评价[J].国土与自然资源研究, 2021(1): 8-11.
YANG L, WANG L. Land ecological security evaluation of Karst area based on principal component clustering analysis[J]. Territory and Natural Resources Study, 2021(1): 8-11.
- [13] PENG W, SUN Y, LIU C, et al. Study on urban land ecological security pattern and obstacle factors in the Beijing-Tianjin-Hebei region[J]. Sustainability, 2022, 15(1): e43.
- [14] 王文莹,李明孝.基于 DPSIR 的湖南省土地生态安全时空变化[J].生态学杂志, 2020, 39(8): 2724-2736.
WANG W X, LI M X. Spatiotemporal change of land ecological security in Hunan based on DPSIR[J]. Chinese Journal of Ecology, 2020, 39(8): 2724-2736.
- [15] 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.
LÜ G B, LIAO T J, YAO Q S, et al. Spatiotemporal variation and land ecological security and its evaluation in Chongqing city based on DPSIR-EES-TOPSIS model[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2019, 26 (6): 249-258, 266.
- [16] 李洁,赵锐锋,梁丹,等.兰州市城市土地生态安全评价与时空动态研究[J].地域研究与开发, 2018, 37(2): 151-157.
LI J, ZHAO R F, LIANG D, et al. Assessment and spatial-temporal dynamics of urban land ecological se-

- curity of Lanzhou city[J]. Areal Research and Development, 2018, 37(2): 151-157.
- [17] 王—山, 张飞, 陈瑞, 等. 乌鲁木齐市土地生态安全综合评价[J]. 干旱区地理, 2021, 44(2): 427-440.
WANG Y S, ZHANG F, CHEN R, et al. Comprehensive ecological security assessment: A case study of Urumqi City[J]. Arid Land Geography, 2021, 44(2): 427-440.
- [18] 张晓瑶, 虞虎, 张潇, 等. 基于多源数据的三江源国家公园土地生态安全综合评价[J]. 生态学报, 2022, 42(14): 5665-5676.
ZHANG X Y, YU H, ZHANG X, et al. Comprehensive evaluation of land ecological security in the Sanjiangyuan National Park based on multi-source data[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(14): 5665-5676.
- [19] 韩磊, 宋子言. 耕地生态安全动态评价及障碍因子诊断: 以黄河下游沿黄县区为例[J]. 水土保持通报, 2021, 41(6): 148-156, 164.
HAN L, SONG Z Y. Dynamic evaluation and obstacle factor diagnosis of cultivated land ecological security: A case study at counties along lower Yellow River[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(6): 148-156, 164.
- [20] 左太安, 苏维词, 马景娜, 等. 三峡重庆库区针对水土流失的土地资源生态安全评价[J]. 水土保持学报, 2010, 24(2): 74-78.
ZUO T A, SU W C, MA J N, et al. Ecological security of land evaluation in the Three Gorges Reservoir area of Chongqing for water and soil erosion[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2010, 24(2): 74-78.
- [21] 陈章. 基于生态足迹的土地生态安全综合评价模型构建及应用[D]. 武汉: 武汉科技大学, 2019.
CHEN Z. Construction and application of model for evaluation land ecological security based on ecological footprint[D]. Wuhan: Wuhan University of Science and Technology, 2019.
- [22] DONG J, LYU Y. Appraisal of urban land ecological security and analysis of influencing factors: A case study of Hefei city, China[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2022, 29(60): 90803-90819.
- [23] 李玲蔚, 白永平, 杨雪荻, 等. 黄河几字湾地区可持续发展的动态演变及区域差异[J]. 干旱区地理, 2022, 45(2): 639-649.
LI L W, BAI Y P, YANG X D, et al. Dynamic evolution and regional differences of sustainable development in Jiziwan of the Yellow River [J]. Arid Land Geography, 2022, 45(2): 639-649.
- [24] 谌溢泉, 李洪琳, 赵长亮. 山东半岛城市群高质量发展测度研究[J]. 统计理论与实践, 2022(1): 23-31.
CHEN Y Q, LI H L, ZHAO C L. Study on the measurement of high-quality development of Shandong peninsula urban agglomeration[J]. Statistical Theory and Practice, 2022(1): 23-31.
- [25] 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 Jiaying City, Zhejiang Province[J]. Resources Science, 2004, 26(3): 69-75.
- [26] 熊建华. 土地生态安全评价研究回顾、难点与思考[J]. 地理与地理信息科学, 2018, 34(6): 71-76.
XIONG J H. Review, difficulties and thinking of land ecological security evaluation[J]. Geography and Geo-Information Science, 2018, 34(6): 71-76.
- [27] 史丽娜, 唐根年. 中国省际高质量发展时空特征及障碍因子分析[J]. 统计与决策, 2021, 37(16): 114-118.
SHI L N, TANG G N. Analysis on spatial-temporal characteristics and obstacle factors of China's provincial high-quality development[J]. Statistics and Decision, 2021, 37(16): 114-118.
- [28] 成长春, 徐长乐, 叶磊, 等. 长江经济带协调性均衡发展水平测度及其空间差异分析[J]. 长江流域资源与环境, 2022, 31(5): 949-959.
CHENG C C, XU C L, YE L, et al. Measurement and spatial differences of coordinated and balanced development level of Yangtze River economic belt [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2022, 31(5): 949-959.
- [29] 穆学青, 郭向阳, 明庆忠, 等. 黄河流域旅游生态安全的动态演变特征及驱动因素[J]. 地理学报, 2022, 77(3): 714-735.
MU X Q, GUO X Y, MING Q Z, et al. Dynamic evolution characteristics and driving factors of tourism ecological security in the Yellow River Basin [J]. Acta Geographica Sinica, 2022, 77(3): 714-735.
- [30] 王怡然, 王雅晖, 杨金霖, 等. 黄河流域森林生态安全等级评价与时空演变分析[J]. 生态学报, 2022, 42(6): 2112-2121.
WANG Y R, WANG Y H, YANG J L, et al. Forest ecological security rating and its spatio-temporal evolution analysis in the Yellow River Basin [J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(6): 2112-2121.
- [31] 国家统计局城市社会经济调查司. 中国城市统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2021.
Department of Urban Surveys of National Bureau of Statistics. China city statistical yearbook [M]. Beijing: China Statistics Press, 2021.
- [32] 山东省统计局, 国家统计局山东调查总队. 山东统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2021.
Shandong Provincial Bureau of Statistics, Survey Offices of National Bureau of Statistics in Shandong. Shandong statistical yearbook [M]. Beijing: China Statistics Press, 2021.

(下转第 277 页)

- [17] 甘孜州年鉴编委会.甘孜州统计年鉴[M].北京:方志出版社,2011,2021.
Ganzi Prefecture Yearbook Editorial Committee. Ganzi prefecture statistical yearbook[M]. Beijing: Fangzhi Publishing House,2011,2021.
- [18] 凉山州人民政府.凉山州统计年鉴[M].成都:四川科学技术出版社,2011,2021.
Liangshan Zhizhou People's government. Liangshan Prefecture statistical yearbook[M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 2011,2021.
- [19] 杨志,李才文,任正龔,等.基于熵权 TOPSIS 模型的宁夏土地利用绩效评价及障碍因子诊断[J].地球科学与环境学报,2023,45(4):1-10.
YANG Z, LI C W, REN Z Y, et al. Evaluation of land use performance and diagnosis of obstacle factors in Ningxia based on entropy weighted TOPSIS model[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2023, 45(4):1-10.
- [20] 金丽娟,许泉立.基于 SRP 模型的四川省生态脆弱性评价[J].生态科学, 2022, 41(2): 156-165.
JIN L J, XU Q L. Ecological vulnerability assessment of Sichuan Province based on SRP model [J]. Ecological Science, 2022, 41(2):156-165.
- [21] 游翔,陈锐银,廖睿智.2018 年度四川省级监测区水土流失动态监测研究[J].中国水土保持,2019(12):23-25.
YOU X, CHEN R Y, LIAO R Z. Research on dynamic monitoring of soil and water loss in Sichuan Provincial monitoring areas in 2018[J]. China Soil and Water Conservation, 2019(12):23-25.
- [22] 周磊,黄秋昊.基于灰色关联 TOPSIS 的城市土地效益评价及障碍因子诊断[J].水土保持研究,2014,21(4):39-44.
ZHOU L, HUANG Q H. Urban land efficiency evaluation and obstacle factor diagnosis based on grey correlation TOPSIS[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2014, 21(4):39-44.
- (上接第 266 页)
- [33] 甘肃省统计局,国家统计局甘肃调查总队.甘肃发展年鉴[M].北京:中国统计出版社,2021.
Gansu Provincial Bureau of Statistics, Survey Offices of National Bureau of Statistics in Gansu. Gansu development yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2021.
- [34] 宁夏回族自治区统计局,国家统计局宁夏调查总队.宁夏统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2021.
Ningxia Hui Autonomous Region Bureau of Statistics, Survey Offices of National Bureau of Statistics in Ningxia. Ningxia statistical yearbook [M]. Beijing: China Statistics Press, 2021.
- [35] 内蒙古自治区统计局.内蒙古统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2021.
Inner Mongolia Autonomous Region Bureau of Statistics. Inner Mongolia statistical yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2021.
- [36] 陕西省统计局,国家统计局陕西调查总队.陕西统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2021.
Shaanxi Provincial Bureau of Statistics, Survey Offices of National Bureau of Statistics in Shaanxi. Shaanxi statistical yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2021.
- [37] 山西省统计局,国家统计局山西调查总队.山西统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2021.
Shanxi Provincial Bureau of Statistics, Survey Offices of National Bureau of Statistics in Shanxi. Shanxi statistical yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2021.
- [38] 张建鹏,陈诗一.金融发展、环境规制与经济绿色转型[J].财经研究,2021,47(11):78-93.
ZHANG J P, CHEN S Y. Financial development, environmental regulations and green economic transition[J]. Journal of Finance and Economics, 2021, 47(11):78-93.
- [39] 王淑英,卫朝蓉,寇晶晶.产业结构调整与碳生产率的空间溢出效应:基于金融发展的调节作用研究[J].工业技术经济,2021,40(2):138-145.
WANG S Y, WEI Z R, KOU J J. Spill overeffect of industrial structure adjustment and carbon productivity: Study based on adjustment of financial development[J]. Journal of Industrial Technological Economics, 2021, 40(2):138-145.
- [40] 吴建新,郭智勇.基于连续性动态分布方法的中国碳排放收敛分析[J].统计研究,2016,33(1):54-60.
WU J X, GUO Z Y. Research on the convergence of carbon dioxide emissions in China: A continuous dynamic distribution approach [J]. Statistical Research, 2016, 33(1):54-60.
- [41] 李林山,赵宏波,郭付友,等.黄河流域城市群产业高质量发展时空格局演变研究[J].地理科学,2021,41(10):1751-1762.
LI L S, ZHAO H B, GUO F Y, et al. High-quality development spatio-temporal evolution of industry in urban agglomeration of the Yellow River Basin[J]. Scientia Geographica Sinica, 2021, 41(10):1751-1762.
- [42] 李小建,文玉钊,李元征,等.黄河流域高质量发展:人地协调与空间协调[J].经济地理, 2020, 40(4):1-10.
LI X J, WEN Y Z, LI Y Z, et al. High-quality development of the Yellow River Basin from a perspective of economic geography: Man-land and spatial coordination[J]. Economic Geography, 2020, 40(4):1-10.