

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2024.08.012

王艺荣, 方斌, 张志成. 人居环境适宜性演变与提升障碍——以陕西省为例 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2024, 46(8): 126-137.

# 人居环境适宜性演变与提升障碍

——以陕西省为例

王艺荣<sup>1</sup>, 方斌<sup>2</sup>, 张志成<sup>2</sup>

1. 西安思源学院 城市建设学院, 西安 710038; 2. 南京师范大学 地理科学学院, 南京 210023

**摘要:** 人文与自然环境的协调发展是科学提升人居环境适宜性的关键。以陕西省为例, 依次运用最小累积阻力 (MCR) 模型、空间自相关分析和障碍度模型, 测算 2000 年、2010 年和 2020 年人居环境适宜性, 分析人文、自然环境适宜性及人居环境综合适宜性的时空演变特征, 识别适宜性制约因素。研究结果表明: ① 2000—2020 年, 陕西省人居环境适宜性持续改善, 尤以陕北地区改善最为明显; ② 人文与自然环境适宜性的空间相关性变化显著, 人居环境综合适宜性的空间自相关程度先大幅降低, 后小幅升高; ③ 社会经济快速发展使得人文环境的障碍度不断减小, 而自然环境制约愈发明显。依据研究结果, 提出“全面统筹, 主抓短板; 分级治理, 以点带面, 顺应自然, 因地制宜”的人居环境适宜性提升建议。

**关键词:** 人居环境; 适宜性; 人文—自然系统; 障碍因素;

陕西省

中图分类号: X171

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号: 1673-9868(2024)08-0126-12

## Evolution of Human Habitat Suitability and the Obstacles of Enhancement

——A Case Study of Shaanxi Province

WANG Yirong<sup>1</sup>, FANG Bin<sup>2</sup>, ZHANG Zhicheng<sup>2</sup>

1. College of Urban Construction, Xi'an Siyuan University, Xi'an 710038, China;

2. School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China

**Abstract:** The harmonious development of the human and natural environments is the key to the scientific

收稿日期: 2024-02-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(42071229, 41671174); 江苏省高校优势学科建设工程项目(164320H116)。

作者简介: 王艺荣, 硕士, 助教, 主要从事国土空间规划与乡村发展研究。

enhancement of human habitat suitability. Taking Shaanxi Province as an example, the Minimal Cumulative Resistance(MCR) model, spatial auto-correlation analysis and obstacle degree model were applied in turn to measure the human habitat suitability in 2000, 2010 and 2020, to analyse the spatio-temporal evolution characteristics and identify the constraint factors. The findings of the study show that: ① From 2000 to 2020, the human habitat suitability in Shaanxi Province continued to improve, especially in north Shaanxi, where the improvement was the most obvious. ② The spatial correlation between human and natural environment suitability changed significantly, and the spatial auto-correlation of comprehensive suitability decreased sharply at first, and then increased slightly. ③ Rapid socio-economic development decreased the degree of obstacles of human environment, while the natural environment constraints have become more and more obvious. Based on the results, suggestions for improving the suitability are proposed, including comprehensive coordination, focusing on weaknesses; hierarchical governance, focusing on key areas; and adapting measures to local conditions while conforming to nature.

**Key words:** human habitat; suitability; human-natural systems; obstacle factors; Shaanxi Province

人居环境反映人类聚居地状况,是与人类生存活动密切相关的地理空间<sup>[1]</sup>。面对工业化和城镇化变革带来的居住空间过度拥挤、生态环境不断退化、城乡分异日渐显著等现象,人居环境问题开始引起国内外学者的关注<sup>[2-4]</sup>。居住条件与人类健康<sup>[5]</sup>、城市边缘区人居环境质量评价<sup>[6]</sup>、不同地域城市化和城市体系的空间演变<sup>[7]</sup>等都成为人居环境科学的重点研究内容。然而,近年来社会经济快速发展导致人们对居住条件有了更高的要求,人文环境与自然环境不协调成为和谐人居环境建设的新挑战,打造有韧性、包容性强、安全性高的人居环境,确保每个人都有一个宜居空间成为了新要求<sup>[8]</sup>。

世界卫生组织将安全、健康、便利和舒适定义为人居环境四大宜居条件<sup>[9]</sup>;中国学者吴良镛<sup>[1]</sup>将人居环境划分为自然、人类、社会、居住和支撑 5 个子系统;也有部分研究从生产—生活—生态 3 个维度评价人居环境<sup>[10]</sup>。尽管目前已取得丰硕的研究成果,但所涉及的研究区域大多聚焦经济发达省份、城市群或城市<sup>[11-13]</sup>,还有相当数量的研究聚焦城市郊区或城乡结合部<sup>[14]</sup>,对欠发达地域的关注相对不足。随着社会经济快速发展和国家发展战略、政策的倾斜,欠发达地区人居环境也发生了明显改善,陕西省即为其中之一。自 1999 年实施退耕还林还草工程以来,陕北地区生态环境明显改善,生态系统服务质量显著提升<sup>[15]</sup>,近年,《陕西省秦岭生态环境保护总体规划》的实施使关中和陕南地区的自然环境有所好转。同时,陕西省居民绿色生活理念逐步形成,省内城镇公共交通基础设施建设不断完善,公共交通客运量显著上升,绿色出行比例和城市建成区绿地率也逐渐提升。但陕北、关中、陕南地区间客观存在地形地貌和资源禀赋差异,如位于陕南地区的汉中市和安康市水电资源丰富,而陕北和关中地区煤炭资源丰富,使得人文环境和自然环境均更具复杂性<sup>[16]</sup>。此外,越来越频繁的生产活动和环境改造活动也加深了人文—自然系统间的权衡程度,人居环境可持续发展面临严峻挑战,人文—自然系统的不协调演化问题亟待破解。

本文以陕西省为例,基于人居环境理论和人地关系地域系统理论,运用最小累计阻力模型、空间自相关模型、人居环境提升的障碍度模型等,评价人居环境适宜性,分析其空间分异特征及人文—自然系统的权衡关系,并识别人居环境提升的障碍因子,探讨人居环境优化策略。本文在一定程度上扩充了人居环境相关理论与评价方法,其成果对实现人居环境可持续发展具有一定的指导意义。

## 1 数据来源与研究方法

### 1.1 研究区概况

陕西省(31°42'N—39°35'N, 105°29'E—111°15'E)位于中国中部,下辖 10 个地级市,共 107 个县级行

政单元,土地面积 205 624 km<sup>2</sup>. 该省南北跨度大,在地理空间上形成陕北黄土高原、关中平原、陕南秦巴山地 3 个自然区<sup>[16]</sup>(以下分别简称陕北地区、关中地区和陕南地区). 其中,陕北地区由榆林市和延安市组成,共计 25 个县域单元;关中地区由西安市、咸阳市、渭南市、宝鸡市和铜川市组成,共计 54 个县域单元;陕南地区由汉中市、安康市和商洛市组成,共计 28 个县域单元. 不同区域间的气候条件、地形地貌和社会经济等方面均存在显著差异. 在气候条件方面,陕西省属于大陆季风性气候,包括温带干旱半干旱气候、暖温带半干旱或半湿润气候、北亚热带湿润气候以及暖温带湿润气候等<sup>[17]</sup>. 在地形地貌方面,全省地势南北高、中间低,陕北地处黄土高原核心,地形破碎;关中平原地势平坦;陕南的秦岭、巴山及汉江盆地共同形成“两山夹一川”的地貌结构. 在社会经济方面,陕北能源工业发达,经济发展迅猛;关中产业多样,人口密集,交通便利;陕南地区受地形与生态保护措施限制,产业发展落后,社会经济效益较低. 由于显著的自然、人文环境差异使得人居环境适宜性在演变模式与提升障碍上产生空间分异,因此陕西省在人居环境适宜性演变研究上具有一定的代表性和典型性.

## 1.2 数据来源

本文所需数据包括陕西省 2000 年、2010 年和 2020 年的社会经济统计数据和地理空间数据. ① 社会经济统计数据获取自《中国县域统计年鉴》《陕西省统计年鉴》及陕西省各市县统计年鉴、统计公报、水资源公报等,数据不一致时以国家统计数据为准;② 地理空间数据中的土地利用数据与归一化差分植被指数(NDVI)数据获取自中国科学院资源环境科学与数据中心(<https://www.resdc.cn>);数字高程(DEM)获取自地理空间数据云平台(<https://www.gscloud.cn>);年平均气温与年降水量获取自国家青藏高原科学数据中心(<https://data.tpdc.ac.cn/>);相对湿度根据累计月均值数据采用克里金法插值获取;交通路网数据获取自全国地理信息资源目录服务系统(<https://www.webmap.cn>). 所有空间数据投影坐标统一为 CGCS2000\_3\_Degree\_GK\_Zone\_40,栅格重采样分辨率统一为 1 000 m×1 000 m.

## 1.3 研究方法

### 1.3.1 人居环境适宜性评价指标体系

人居环境是与人类生存活动密切相关的地理空间,在自然和人文环境影响下,人类生存和社会经济发展在这一地理空间的适宜程度可看作人居环境的适宜性. 本文聚焦前人相关研究成果,结合区域环境分异特征,从人文环境适宜性和自然环境适宜性两个维度构建陕西省人居环境适宜性评价指标体系. 在人文环境适宜性方面,人类是人居环境的直接受益者,合理的人口密度是地域资源可持续利用的必要前提<sup>[18]</sup>,更是实现各类设施空间公平性的重要保障<sup>[19]</sup>;地区人居环境提升所需的物质资源依赖经济基础<sup>[20]</sup>,国内生产总值(GDP)是其直观表达;而物质资源流动依赖发达的交通<sup>[21]</sup>,以交通可达性表征;公共服务设施与基础设施建设水平在一定程度上反映了当地居民生活的便利性<sup>[22]</sup>,以一般公共预算支出表征. 在自然环境适宜性方面,陕西省地形地貌、气温、湿度、水文环境和植被覆盖等与人居环境适宜性密切相关的因素空间异质性显著,分别以地形起伏度、温湿指数、水文指数和 NDVI 表征. 此外,以生态系统服务价值表征生态系统所提供的居民福祉<sup>[23]</sup>.

本研究共选取 9 项指标,其中交通可达性借助成本距离法测算,地形起伏度借助移动窗口法测算,温湿指数与水文指数参考冯琰玮等<sup>[24]</sup>的研究计算,生态系统服务价值依据谢高地等<sup>[25]</sup>提出的当量因子法计算. 经共线性检验,9 项指标的方差膨胀系数(VIF)值均小于 10,表明评价结果受指标共线性的影响较小<sup>[26]</sup>. 同时,由于人居环境系统具有复杂性和不确定性,本文采用 CRITIC(Criteria Importance Though Intercriteria Correlation)客观赋值法<sup>[27]</sup>确定指标权重,该方法可以对熵值法中存在的指标间缺乏横向比较、权重受样本变化影响等问题加以改善,适用于受多因素影响且因素间相互作用较复杂的权重测度. 本文所

选指标及权重如表 1 所示。

表 1 人居环境适宜性评价指标体系及权重赋值

目标层	准则层	指标层	指标释义	权重
人居环境适宜性	人文环境适宜性	人口密度	表征单位面积的人口稠密程度	0.071 1
		GDP	表征地区经济发展水平	0.039 6
		交通可达性	表征人类生产生活的交通便利性	0.109 6
	自然环境适宜性	一般公共预算支出	表征地区公共服务设施与基础设施建设水平	0.131 3
		地形起伏度	表征地区地形地貌特征	0.145 7
		温湿指数	表征地区气候适宜程度	0.137 8
		水文指数	表征地区水文条件	0.101 6
		NDVI	表征地区植被覆盖度	0.133 6
		生态系统服务价值	表征地区生态系统为人类提供的福祉水平	0.129 7

### 1.3.2 最小累积阻力模型

本文选用最小累积阻力模型(MCR 模型)评价陕西省 2000 年、2010 年和 2020 年的人居环境适宜性。MCR 模型可测算事物向四周扩散时克服各类阻力所耗费的代价,多应用于适宜性评价研究。模型主要由源、阻力面和阻力系数构成,“源”为扩张起始点;阻力面反映单一阻力因子在不同空间点上的阻力大小,所有阻力因子形成的阻力面加权后构成综合阻力基面;阻力系数表征各因子产生阻力的能力,一般阻力越大,阻力系数越大<sup>[24]</sup>。MCR 模型的公式为:

$$F_{MCR} = f_{\min} \sum_{j=n}^{i=m} D_{ij} \times R_i \quad (1)$$

$$S = \sum a_{ij} \times q_{ij} \quad (2)$$

式中,  $F_{MCR}$  表示最小累积阻力值;  $S$  表示最小累积综合阻力值;  $D_{ij}$  表示源( $i$ )到空间单元( $j$ )的空间距离;  $R_i$  表示空间单元( $j$ )对源( $i$ )的阻力系数;  $\min$  表示取不同源到被评价空间累积阻力的最小值;  $f$  表示最小累积阻力与人居环境适宜性的负相关关系;  $a_{ij}$  表示第  $i$  个阻力因子的阻力值;  $q_{ij}$  表示第  $i$  个阻力因子的权重。

本文将 2000 年、2010 年和 2020 年的城镇居民点与农村宅基地作为“源”;参照已有研究<sup>[24]</sup>及陕西省人居环境现状,在 Arc GIS 10.2 中对 2000 年、2010 年和 2020 年各指标统一进行归一化处理与阻力系数赋值(表 2),以消除各年份间的不可比较性,并进行重分类,构成阻力面。

表 2 2000—2020 年人居环境适宜性评价指标阻力系数赋值

评价指标	阻力系数( $R_i$ )				
	1	2	3	4	5
人口密度	[0.4, 0.6)	[0.6, 0.8)	[0.2, 0.4)	[0.8, 1.0)	(0, 0.2)
GDP	[0.8, 1.0)	[0.6, 0.8)	[0.4, 0.6)	[0.2, 0.4)	(0, 0.2)
交通可达性	[0.8, 1.0)	[0.6, 0.8)	[0.4, 0.6)	[0.2, 0.4)	(0, 0.2)
一般公共预算支出	[0.8, 1.0)	[0.6, 0.8)	[0.4, 0.6)	[0.2, 0.4)	(0, 0.2)
地形起伏度	(0, 0.1)	[0.1, 0.2)	[0.2, 0.3)	[0.3, 0.6)	[0.6, 1.0)
温湿指数	[0.8, 1.0)	[0.6, 0.8)	[0.4, 0.6)	[0.2, 0.4)	(0, 0.2)
水文指数	[0.6, 0.8)	[0.4, 0.6)	[0.2, 0.4)	[0.8, 1.0)	(0, 0.2)
NDVI	[0.6, 0.8)	[0.4, 0.6)	[0.2, 0.4)	[0.8, 1.0)	(0, 0.2)
生态系统服务价值	[0.8, 1.0)	[0.6, 0.8)	[0.4, 0.6)	[0.2, 0.4)	(0, 0.2)

注:各项评价指标的阻力系数( $R_i$ )取值均为 1,2,3,4,5,值越大则评价指标对人居环境适宜性的阻力越大。

### 1.3.3 空间相关性

本文借助全局空间自相关分析各评价单元人居环境适宜性在空间上的聚集特征,公式为:

$$I = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \mathbf{W}_{ij}} \times \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \mathbf{W}_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3)$$

式中,  $I$  为全局空间自相关程度,取值 $[-1, 1]$ ,其绝对值越接近 1,空间自相关性越强,即相邻区域的人居环境适宜性越趋于集聚; $x_i, x_j$  分别为区域  $i, j$  中的人居环境适宜程度; $\bar{x}$  为各评价单元的平均值; $\mathbf{W}_{ij}$  为空间权重矩阵(空间单元的邻接关系),若区域  $i$  和  $j$  相邻,则  $\mathbf{W}_{ij} = 1$ ,否则  $\mathbf{W}_{ij} = 0$ .

本文同时借助 Anselin<sup>[28]</sup>提出的双变量局部空间自相关分析模型,分析陕西省人文环境适宜性与自然环境适宜性的权衡/协同关系,公式为:

$$I_i = Z_i \sum_{j=1}^n \mathbf{W}_{ij} Z_j \quad (4)$$

式中,  $I_i$  为人文与自然环境适宜性在局部研究单元间的空间关联程度,可分为 4 种空间关联类型:高一高型和低一低型表示区域  $i$  的人文与自然环境适宜性呈空间协同关系,低一高型和高一低型则呈空间权衡关系<sup>[29]</sup>;  $Z_i$  和  $Z_j$  为区域  $i$  和  $j$  观测值的方差标准化值,用来消除进行双变量空间自相关分析时量纲的影响.

### 1.3.4 障碍度模型

障碍度模型是有效判断阻碍事物发展关键因子的数学统计方法,已被广泛运用于各学科领域的影响因子研究.参照已有研究<sup>[14]</sup>,基于陕西省人居环境适宜性评价指标体系,构建障碍度模型,公式为:

$$P_j = \left[ (1 - Z_j) \times q_{ij} / \sum_{j=1}^m (1 - Z_j) \times q_{ij} \right] \times 100\% \quad (5)$$

$$V_j = \sum P_j \quad (6)$$

式中,  $P_j$  为单项指标对人居环境适宜性的障碍度;  $Z_j$  为根据极差标准化法求出的单项指标标准化值;  $m=9$ ;  $V_j$  为准则层对人居环境适宜性的障碍度,  $q_{ij}$  为指标权重.

## 2 结果与分析

### 2.1 人居环境适宜性时空演变

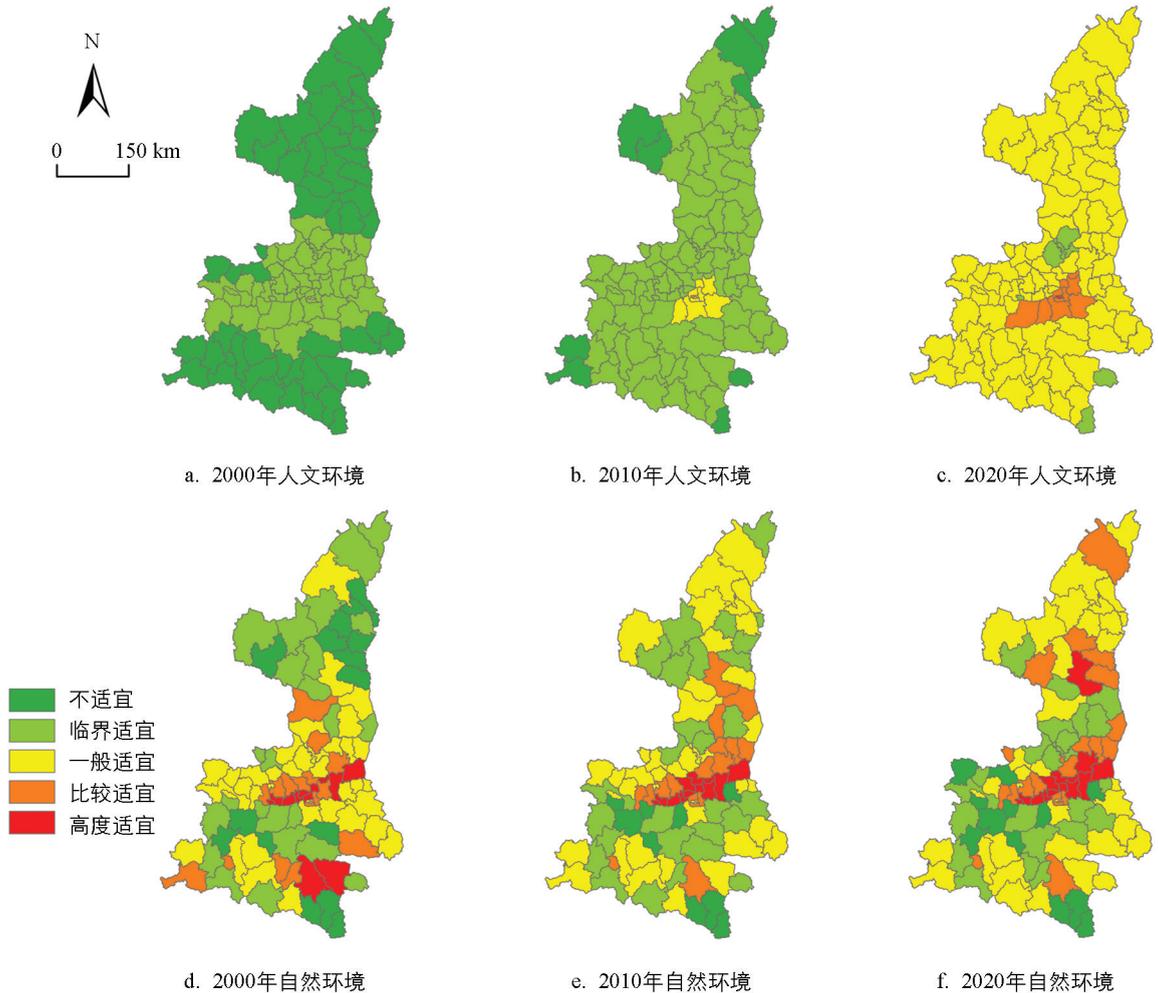
#### 2.1.1 人文环境与自然环境的适宜性演变

为便于分析,本文借助 Arc GIS 10.2 的分区统计工具,按年份计算陕西省各县域单元的人文/自然环境适宜性均值,并将 2000 年、2010 年和 2020 年的计算结果统一进行归一化处理,消除不同年份间的不可比较性,然后分别将人文和自然环境适宜性均等划分为不适宜、临界适宜、一般适宜、比较适宜和高度适宜 5 个等级(图 1).

2000—2020 年,陕西省人文环境适宜性显著提升,关中地区高于陕北、陕南地区,西安市高于其他城市.从 2000—2020 年的相对适宜程度看(图 1a—图 1c),2000 年西安市碑林区和新城区适宜性最高,但仅达一般适宜水平;有 53 个县域单元达到临界适宜水平,包括陕北南部和陕南北部的少数区县及关中的多数区县.2010 年,达到一般适宜水平的县域数量为 11 个,均在西安市域范围内,其中莲湖区达到比较适宜水平;临界适宜区县上升至 87 个,仅白河、定边、府谷、佳县、略阳、宁强、神木、吴起和镇坪共 9 个县域单元仍为不适宜水平.至 2020 年,陕西人文环境适宜性提升显著,100 个县域单元达一般适宜水平,含 10 个比较适宜区和 3 个高度适宜区,其中高度适宜区为西安市碑林区、莲湖区和新城区;白河、王益、杨陵、耀

州、宜君、印台和镇坪共 7 个县域单元为临界适宜区; 无不适宜区。

2000—2020 年, 陕西省自然环境适宜性整体提升, 关中地区与陕北、陕南地区分异明显(图 1d—图 1f)。2000 年, 陕北与陕南地区分别有 9 个和 7 个自然环境不适宜区县; 全省有 28 个区县达比较适宜水平, 含 12 个高度适宜区县; 临界适宜和一般适宜区县数量分别为 24 个和 39 个。2010 年, 达到比较适宜水平的区县数量增加 1 个, 其中高度适宜区县仍为 12 个; 临界适宜区县增加至 28 个; 一般适宜区县增加至 41 个; 不适宜区县减少至 9 个; 关中地区适宜度仍最高, 陕北地区自然环境适宜性改善最为显著。至 2020 年, 关中、陕南地区自然环境适宜水平得以维持, 陕北地区则持续得以改善。



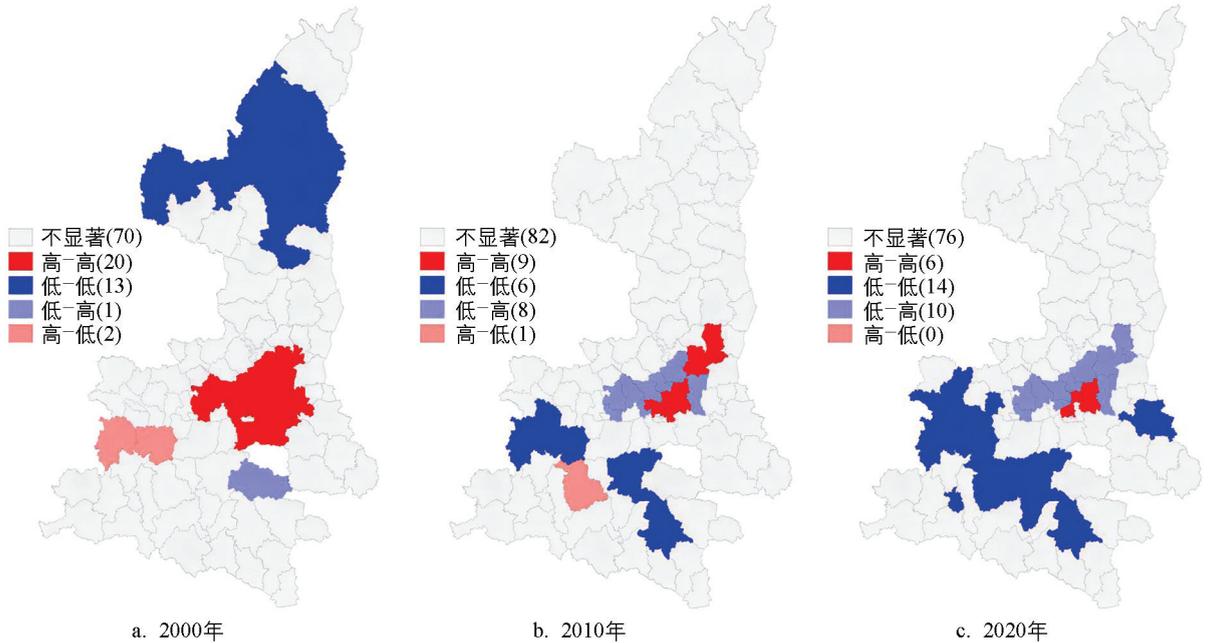
审图号: GS(2020)4814

图 1 陕西省人文环境和自然环境的适宜性演变

### 2.1.2 人文—自然环境适宜性的空间关系演变

人居环境适宜性是人文与自然环境相互作用、相互影响的结果, 探索两者空间相关性的变化特征有助于分析人居环境提升障碍。2000 年(图 2a), 陕北 13 个县域单元的人文—自然环境适宜性空间相关类型为低—低型, 低—低集聚区多位于榆林市境内; 关中地区的西安及其周边县域为高—高集聚, 凤县和太白县为高—低分布; 陕南镇安县人文—自然环境适宜性的空间相关类型为低—高型, 其余区县相关性不显著。2010 年(图 2b), 陕北人文—自然环境适宜性的空间相关性不显著; 关中中部地区的澄城县、蒲城县、阎良区、临潼区、灞桥区、高陵区、渭城区、未央区、莲湖区共 9 个区县为高—高集聚, 而上述区县东西两侧的空间相关类型为低—高型, 关中西部的凤县、太白县、渭滨区、金台区为低—低集聚; 陕南洋县为高—低型, 宁陕县和汉滨区为低—低型。2020 年(图 2c), 人文—自然环境适宜性的高—高型区县持续减少, 仅剩

临潼区、阎良区、高陵区、未央区、莲湖区和新城区,低—高型数量略有增加;低—低型县域数量从2010年的6个增加至14个,主要分布在关中西部和陕南中部.整体而言,2000—2020年陕西省人文和自然环境适宜性虽均有明显改善,但两者的协调关系越来越具有复杂性.关中地区的高—高协同区县持续减少,低—高权衡持续增加,人文环境和自然环境的冲突逐渐显现;而陕南地区的低—低协同集聚则说明该区人文与自然环境适宜性在省域范围内均不具有优势.



审图号: GS(2020)4814

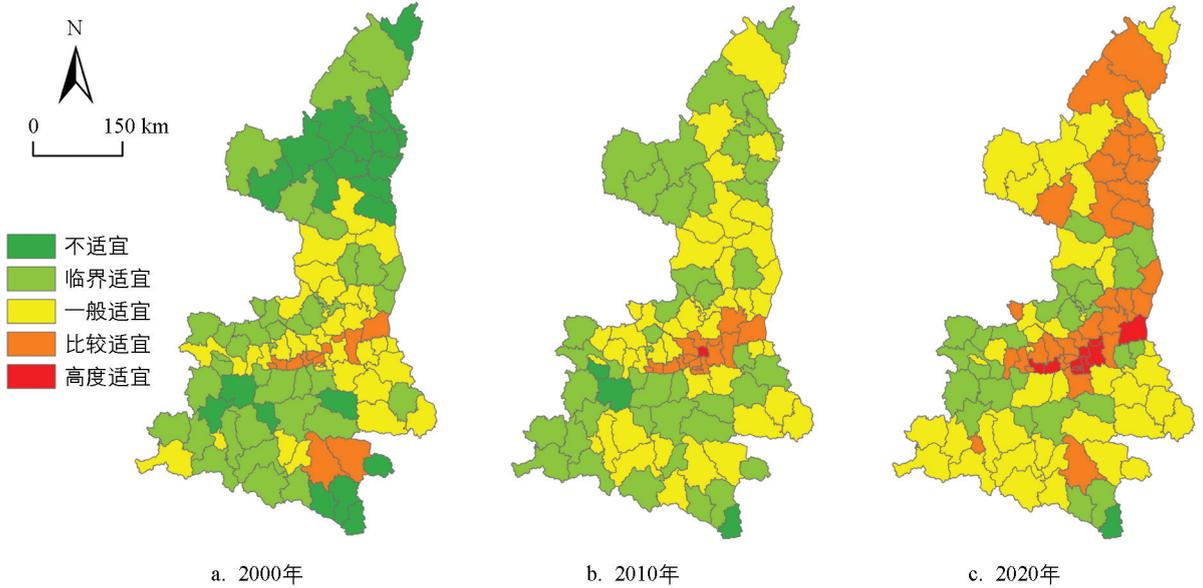
图 2 陕西省人文—自然环境适宜性的空间相关性

### 2.1.3 人居环境的综合适宜性演变

2000—2020年,关中地区人居环境适宜性高于陕北、陕南地区,全省人居环境适宜性显著改善,陕北地区提升幅度最大.2000年(图3a),22个县域单元处于不适宜水平,陕北、关中和陕南地区分别有14个、1个和7个;全省仅48个区县达一般适宜水平,约占区县总数的44.86%,其中包括13个比较适宜区县;从空间分布上看,关中地区有11个比较适宜区,陕南的汉滨区和旬阳县适宜性也较高.2010年(图3b),仅关中地区的太白县和渭滨区及陕南地区的镇坪县属于不适宜区,全省有63个区县达一般适宜水平,包括1个高度适宜区和18个比较适宜区;陕北全域均达临界适宜及以上水平,且25个区县中有10个达一般适宜水平;陕南28个区县中有11个达一般适宜水平;适宜度最高的仍是关中地区,关中54个区县中有42个达一般适宜水平,包括18个比较适宜区和1个高度适宜区(高陵区).2020年(图3c),人居环境再度提升,仅镇坪县属于不适宜区,全省82个区县达一般适宜及以上水平,适宜率约76.64%,且比较适宜及以上水平的区县在陕北、关中和陕南地区均有分布;陕北有21个县域单元达一般适宜,其中11个为比较适宜区,甘泉县、黄陵县、黄龙县和宜川县为临界适宜水平;陕南也有21个区县达一般适宜水平,但达比较适宜的仅有安康市汉滨区和汉中市汉台区,无高度适宜区;关中达一般适宜及以上的区县较2010年减少2个,但比较适宜区增长至25个,高度适宜区增长至12个.

全局 *Moran's I* 计算结果证实人居环境适宜性具有显著的空间正相关性(表3),即相邻单元交互作用强,有集聚性空间现象<sup>[30]</sup>.具体而言,2000—2020年人居环境综合适宜性与人文环境适宜性的集聚特征较显著,而自然环境适宜性相对微弱.三者的 *Moran's I* 估值在2010年时均有下降,但至2020年又小幅度回升,这一结果体现了不同发展阶段人居环境适宜性的空间演变过程.在快速发展时期,受国家及地方政策

的支持, 社会经济发展为追求规模尺度的极化效应而过度开发自然资源, 致使自然环境适宜性的提升空间较大, 因此呈更强的空间集聚性; 而到稳定发展时期, 扩散和涓滴效应显现, 空间集聚性略有消减。



审图号: GS(2020)4814

图 3 2000—2020 年陕西省人居环境适宜性综合评价结果

表 3 陕西省人居环境适宜性 Moran's I 估值

适宜性类型 相关性参数	人居环境综合适宜性			人文环境适宜性			自然环境适宜性		
	2000 年	2010 年	2020 年	2000 年	2010 年	2020 年	2000 年	2010 年	2020 年
Moran's I	0.575	0.508	0.549	0.801	0.631	0.665	0.435	0.384	0.386
p 值	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Z 值	8.962 7	8.016 8	8.516 1	12.422 3	10.275 2	11.398 5	6.812 5	6.213 3	6.060 3

注:  $p$  值表示概率,  $Z$  值表示标准差的倍数. 在  $Z < -1.65$  或  $Z > 1.65$ , 且  $p < 0.1$  时, 置信度为 90%; 在  $Z < -1.96$  或  $Z > 1.96$ , 且  $p < 0.05$  时, 置信度为 95%; 在  $Z < -2.58$  或  $Z > 2.58$ , 且  $p < 0.01$  时, 置信度为 99%。

## 2.2 人居环境适宜性提升障碍因素

### 2.2.1 人文—自然系统对人居环境适宜性的障碍

从宏观的人文—自然系统演化来看, 2000—2020 年人文环境与自然环境对陕西省人居环境适宜性的制约作用不断变化(图 4). 2000 年(图 4a), 自然环境对 84 个县域单元的制约略大于人文环境, 其余县域单元人文环境制约略大于自然环境, 但两者对陕西省 107 个区县的障碍度差值较小; 受人文环境制约较大的 23 个区县均处于陕南地区, 即陕南地区主要受人文环境制约, 陕北和关中地区受自然环境制约较大. 2010 年(图 4b), 受自然环境制约较大的区县数量增长至 88 个, 除碑林区、莲湖区和新城区外 85 个区县的人文、自然环境障碍度差值均较小; 受人文环境制约较大的区县数量减少至 19 个, 且仍全部地处陕南地区. 2020 年(图 4c), 受自然环境制约较大的区县数量继续增长至 90 个, 其中 12 个区县的自然环境障碍度远大于人文环境, 且 12 个区县均属西安市域; 受人文环境制约较大的区县数量减少至 17 个, 仍全部地处陕南地区. 整体而言, 社会经济不断进步使得人文环境的制约性逐步减小, 而地形等客观存在的自然因素难以改变, 自然环境的制约性愈发显现。

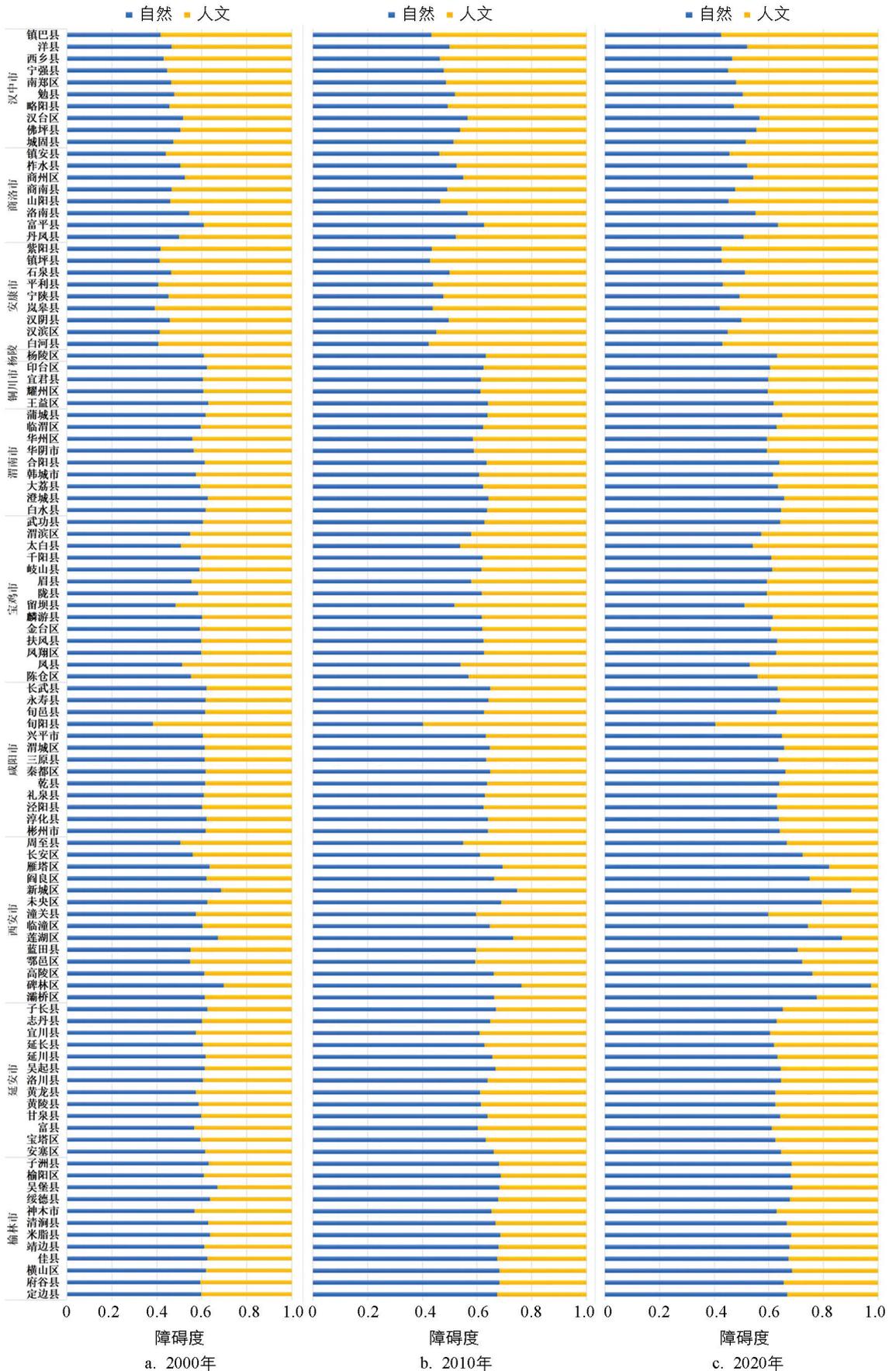


图 4 人文—自然系统对陕西省人居环境适宜性的障碍度

### 2.2.2 人居环境适宜性的障碍因子识别

筛选陕西省 2000—2020 年人居环境适宜性第一和第二障碍因子, 发现人口密度、一般公共预算支出、地形起伏度、温湿指数、水文指数、NDVI 与生态系统服务价值等均产生不同程度障碍, 且陕北、关中和陕南地区障碍因子的时空分异显著(表 4)。

表 4 2000—2020 年陕西省人居环境适宜性障碍因子及其制约县域单元数量统计

障碍等级	指标	2000 年县域单元数量			2010 年县域单元数量			2020 年县域单元数量		
		陕北	关中	陕南	陕北	关中	陕南	陕北	关中	陕南
第一障碍因子	一般公共预算支出	23	41	27	5	18	22	0	4	18
	地形起伏度	1	12	0	17	17	0	22	23	0
	温湿指数	0	1	0	1	2	0	2	4	1
	NDVI	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	生态系统服务价值	0	0	1	2	17	6	1	23	9
第二障碍因子	人口密度	0	0	3	0	0	4	0	3	3
	一般公共预算支出	1	9	1	17	17	6	4	8	9
	地形起伏度	16	11	1	6	7	2	3	16	2
	温湿指数	1	2	2	0	1	1	6	0	1
	水文指数	0	1	0	0	0	0	1	0	0
	NDVI	6	0	0	1	0	0	1	0	0
	生态系统服务价值	1	31	21	1	29	15	10	27	13

2000 年, 一般公共预算支出成为 91 个区县人居环境适宜性的第一障碍因子, 同时是 11 个区县的第二障碍因子, 表明当年公共服务设施与基础设施缺陷是人居环境适宜性的主要短板。对陕北地区而言, 一般公共预算支出是 23 个区县的第一障碍因子, 地形因素是 16 个区县的第二障碍因子; 由于上述两因子障碍程度过大, 虽然陕北地区的温湿指数、NDVI 及生态系统服务价值也存在不足, 但未成为主要障碍因子。关中地区的人居环境适宜性障碍因素较为复杂, 一般公共预算支出是 41 个区县的第一障碍因子, 9 个区县的第二障碍因子, 表明公共服务设施与基础设施缺陷也是关中地区的主要障碍; 有 23 个区县受地形因素的严重制约; 31 个区县受生态系统服务价值低下的制约程度较大。而对陕南地区, 基础设施与公共服务设施便利性不足和生态系统服务价值低下是主要障碍。

2010 年, 全省障碍因子发生明显转变, 公共设施、地形与生态系统服务价值共同制约。对陕北地区, 地形因素成为 17 个区县的第一障碍因子, 一般公共预算虽仅为 5 个区县的第一障碍因子, 但仍为 17 个区县的第二障碍因子, 表明当地基础设施与公共服务设施有所改善, 但仍存在较大改善空间; 退耕还林还草工程的生态效益显著, NDVI 与生态系统服务价值均大幅提升, 受两者限制的区县明显减少。对关中地区而言, 一般公共预算支出仅为 18 个区县的障碍因子, 其所制约的区县数量大幅减少, 地形因素的限制作用因此更为突出; 生态系统服务价值仍是 17 个区县的第一障碍因子和 29 个区县的第二障碍因子。基础设施与公共服务设施便利性不足和生态系统服务价值低下仍是陕南地区人居环境适宜性的主要障碍。

2020 年, 陕西省人居环境适宜性仍受公共设施、地形与生态系统服务价值的共同制约, 但各因子的制约程度发生了转变。对陕北地区而言, 地形因素仍是主要障碍, 但公共服务设施与基础设施的障碍程度大幅下降, 不再是主要制约因素; 由于建设用地扩张、退耕还林还草工程生态效益提升速度放缓等, 生态系统服务价值与温湿指数的制约性逐渐显现。关中地区与陕北地区类似, 设施便利性大幅提升, 主要制约因素转为地形起伏度; 随着社会经济的快速发展, 建设用地不断扩张, 生态系统服务价值有所减小, 制约人居环境适宜性的提升。陕南地区的设施便利性持续改善, 但其仍是主要障碍; 对部分区县而言, 生态系统服务价值从第二障碍因子转变为第一障碍因子。

整体而言, 2000—2020 年陕北地区的主要制约因素由设施服务水平转变为地形起伏度, 生态系统服务价值制约性逐渐显现; 关中地区从设施服务水平的单一制约转变为地形与生态系统服务价值共同制约; 陕

施服务水平与生态系统服务价值一直是陕南地区人居环境适宜性短板。

### 3 结论与建议

#### 3.1 结论

本文以自然、人文环境均具显著空间分异的陕西省为例,测算 2000 年、2010 年和 2020 年人居环境适宜性,分析人文环境适宜性、自然环境适宜性及人居环境综合适宜性的时空演变特征,并探索制约因素,得出主要结论如下:

1) 2000—2020 年,陕西省人居环境适宜性持续改善,尤以陕北地区改善最为明显。全省人文环境适宜性逐步提高,西安市适宜性持续高于其他地域。关中地区的自然环境适宜性整体优于陕北和陕南地区,但关中西部的自然环境适宜性持续小幅降低;陕北地区得益于退耕还林还草工程,自然环境适宜性大幅改善;陕南地区变化较小。人居环境综合适宜性的空间演变与自然环境适宜性相似。

2) 陕西省人文与自然环境适宜性的空间相关性变化显著,人居环境综合适宜性的空间自相关程度先大幅降低,后小幅升高。在人文—自然环境适宜性的空间相关性方面,陕北地区由大范围低—低集聚转变为相关性不显著;关中地区高一高集聚范围不断缩小,而低—低集聚与低—高分布范围不断扩大;陕南地区从小范围的低—高集聚转变为大范围的低—低集聚。人居环境综合适宜性在快速发展时期呈更强的空间集聚性;至稳定发展时期,空间集聚性略有消减。

3) 社会经济快速发展使人文环境的障碍度不断减小,而自然环境制约愈发明显。陕北地区的主要制约由设施服务水平转变为地形因素,生态系统服务价值的制约性逐渐显现;关中地区从设施服务水平单一制约转变为地形与生态系统服务价值共同制约;设施服务水平与生态系统服务价值持续制约陕南地区人居环境适宜性。

#### 3.2 建议

1) 全面统筹,主抓短板。人居环境适宜性是多重因子相互作用的结果,由于各类因子间存在发展的不协调性,其对人居环境所产生的制约程度也不同。各因子的制约性不完全呈此消彼长趋势,短板被弥补后,次一级的障碍因素才得以显现。因此,针对居民对人居环境的高质量需求,管理者应统筹全域全要素,在着重弥补短板的同时,布局次级障碍因素的改善策略。

2) 分级治理,以点带面。人居环境适宜性有着显著的空间集聚性,即临近地区的适宜性存在协同效应。因此,不仅要统筹微观要素,还应站位宏观尺度,明确核心发展区,重构人居环境的空间体系,制定分级治理体系,在发挥高等级地区示范作用的同时,以点带面,实现地区人居环境适宜性同步提升。

3) 顺应自然,因地制宜。植被覆盖、生态系统服务价值及水文指数等不同程度地制约人居环境适宜性,可通过人工手段进行改善,例如在陕北地区实施的退耕还林还草工程改善了植被覆盖,丰富或维持了物种多样性,提升了生态系统服务价值,降低了自然因素的制约力。但地形等自然制约客观存在的,难以克服,因此需扬长避短,适当开发区域优势资源,顺应自然,因地制宜,提升人居环境适宜性。

#### 参考文献:

- [1] 吴良镛. 人居环境科学导论 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.
- [2] DOXIADIS C A. Action for Human Settlements [M]. Athens: Athens Publishing Center, 1975.
- [3] KASEVA M. The African City in Sustainable Human Settlement Development: a Case of Urban Waste Management in Dar Es Salaam, Tanzania: Technical Paper [J]. Joernaal Van Die Suid-Afrikaanse Instituut Van Siviele Ingenieurswese, 1943, 41: 26-30.
- [4] 田深圳, 杨兵, 李雪铭, 等. 从分科知识到交叉融通的国内外人居环境综述与展望 [J]. 世界地理研究, 2023, 32(7): 134-147.
- [5] MATHEE A, MOYES J, MKHENCELE T, et al. Housing Quality in a Rural and an Urban Settlement in South Africa [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021, 18(5): 2240.
- [6] EGIDI G, HALBAC-COTOARA-ZAMFIR R, CIVIDINO S, et al. Rural in Town: Traditional Agriculture, Population Trends, and Long-Term Urban Expansion in Metropolitan Rome [J]. Land, 2020, 9(2): 53.

- [7] LI J M, YANG Y, FAN J, et al. Comparative Research on Regional Differences in Urbanization and Spatial Evolution of Urban Systems between China and India [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2018, 28(12): 1860-1876.
- [8] GUERRA J B S O A, HOFFMANN M, BIANCHET R T, et al. Sustainable Development Goals and Ethics: Building “the Future we Want” [J]. *Environment, Development and Sustainability*, 2022, 24(7): 9407-9428.
- [9] ZHANG Z C, FANG B, LI X Q, et al. Evaluation of Human Settlement Environment and Identification of Development Barriers Based on the Ecological Niche Theory: a Case Study of Northern Shaanxi, China [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2023, 20(3): 1772.
- [10] 李雅薇, 马利邦, 方芳, 等. 乡村人居环境质量评价及其分区治理对策研究——基于甘肃省金昌市村庄调查截面数据 [J]. *湖南师范大学自然科学学报*, 2022, 45(1): 20-31.
- [11] 彭坤杰, 胡强盛, 许春晓, 等. 长江经济带旅游产业与城市人居环境协调效应及互动响应 [J]. *长江流域资源与环境*, 2022, 31(7): 1426-1440.
- [12] 邵海琴, 王兆峰. 长江中游城市群人居环境空间关联网络结构及其驱动因素 [J]. *长江流域资源与环境*, 2022, 31(5): 983-994.
- [13] 李科, 齐晶瑶, 张富国, 等. 上海市城市空间扩张与人居环境质量关系研究 [J]. *环境保护科学*, 2022, 48(5): 38-44, 68.
- [14] 王成, 代蕊莲, 陈静, 等. 乡村人居环境系统韧性的演变规律及其提升路径——以国家城乡融合发展试验区重庆西部片区为例 [J]. *自然资源学报*, 2022, 37(3): 645-661.
- [15] 叶璇, 康帅直, 赵永华, 等. 陕北黄土高原植被恢复与生态系统服务的时空关系 [J]. *应用生态学报*, 2022, 33(10): 2760-2768.
- [16] 黄娇, 陈海, 王佳宇, 等. 区域社会—生态系统恢复力协调发展时空演变研究——以陕西省为例 [J/OL]. *干旱区地理*, 2023; 1-15. (2023-10-13) [2024-01-30]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/65.1103.X.20231011.1727.001.html>.
- [17] 陈谢扬, 李同昇, 朱小青, 等. 基于实际调查与观测解译对比验证的土地沙漠化敏感性评价——以陕西省为例 [J]. *干旱区地理*, 2023, 46(11): 1813-1825.
- [18] 曾雪婷, 薛勇. 超大城市人口—自然资源系统可持续发展水平研究——基于 Laplace 混合政策模拟 [J]. *人口与经济*, 2022(1): 121-139.
- [19] 陈阳, 荆欣, 马仁锋, 等. 城市绿色空间公平研究: 缘起、进展与启示 [J]. *应用生态学报*, 2023, 34(7): 2006-2016.
- [20] 王旭, 赵国超. 中国城乡人居环境与经济协调发展的时空演变研究 [J]. *生态经济*, 2022, 38(6): 166-173.
- [21] 姚尧, 李林龙, 孙振辉, 等. 交通驱动下微观地块尺度的城市土地利用变化模拟——以深圳市为例 [J]. *国际城市规划*, 2022, 37(6): 17-25.
- [22] 王爱, 付伟, 陆林, 等. 基于 15 分钟生活圈的住区公共服务设施配置研究 [J]. *人文地理*, 2023, 38(4): 72-80.
- [23] 杨雪婷, 邱孝枰, 徐云, 等. 典型山区生态系统服务对居民福祉影响的空间差异及动态特征——以川西山区为例 [J]. *生态学报*, 2021, 41(19): 7555-7567.
- [24] 冯琰玮, 甄江红. 内蒙古自治区人居环境综合适宜性评价及空间优化 [J]. *地球信息科学学报*, 2022, 24(6): 1204-1217.
- [25] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 等. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进 [J]. *自然资源学报*, 2015, 30(8): 1243-1254.
- [26] ZHANG Z C, ZHANG H J, FENG J, et al. Evaluation of Social Values for Ecosystem Services in Urban Riverfront Space Based on the SolVES Model: a Case Study of the Fenghe River, Xi'an, China [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021, 18(5): 2765.
- [27] DIAKOULAKI D, MAVROTAS G, PAPAYANNAKIS L. Determining Objective Weights in Multiple Criteria Problems: The Critic Method [J]. *Computers and Operations Research*, 1995, 22(7): 763-770.
- [28] ANSELIN L. Local Indicators of Spatial Association—LISA [J]. *Geographical Analysis*, 1995, 27(2): 93-115.
- [29] 钱彩云, 巩杰, 张金茜, 等. 甘肃白龙江流域生态系统服务变化及权衡与协同关系 [J]. *地理学报*, 2018, 73(5): 868-879.
- [30] 李欣, 方斌, 殷如梦, 等. 江苏省县域“三生”功能时空变化及协同/权衡关系 [J]. *自然资源学报*, 2019, 34(11): 2363-2377.