DOI:10.13870/j.cnki.stbcxb.2024.02.025

尹力,魏伟,薄立明,等.秦巴山区国土空间格局演变特征及驱动力分析[J].水土保持学报,2024,38(2):278-293.

YIN Li, WEI Wei, BO Liming, et al. Analysis on the evolution characteristics and driving forces of territorial space pattern in the Qinling-Daba mountain area[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2024, 38(2):278-293.

秦巴山区国土空间格局演变特征及驱动力分析

尹力1,魏伟1,2,3,薄立明2,张轲1,夏俊楠1

(1.武汉大学城市设计学院,武汉 430072;2.武汉大学中国发展战略与规划研究院,武汉 430072; 3.湖北省人居环境工程技术研究中心,武汉 430072)

摘 要:[目的]科学认知秦巴山区城镇空间、农业空间和生态空间的时空演化过程与形成机理,是助力全国空间发展格局统筹协调和推动中西部崛起的关键,更是地区高质量转型发展的迫切需求。[方法]基于空间转移矩阵、地形位分析和随机森林回归等方法,从"格局规模一地形位置"2个维度切入,研究2000—2020年间秦巴山区国土空间时空演化特征与驱动机制。[结果](1)近20年秦巴山区城镇剧烈扩张、农业和生态空间持续缩减,占比58.33%的县区人口减少的同时城镇用地依然呈扩张态势,"人口总量一城镇规模"出现严重两极分化;(2)城镇、农业空间"上山爬坡"、生态空间"下谷"现象明显,新增城镇和农业空间平均上移1~2个地形位,下游丹江口水库坝体加高工程对山区整体国土空间分布梯度产生显著影响;(3)"农业空间一生态空间"动态调整置换是秦巴山区主导转换类型,财政支出的影响作用最为显著;农业空间是新增城镇的主要来源,同时秦巴山区城镇退化为农业、生态空间的规模显著;(4)国土开发政策、山地地形属性、交通区位条件和社会经济因素共同制约影响秦巴山区国土空间演化结果,各类型因素在不同转换方向上的作用强度和显著因子数量有明显差异。[结论]推动新增城镇向重点开发区集中,科学引导农业和生态空间顺应地形梯度布局,慎重进行水利工程建设,整体谋划区域"三区三线"布局,将对秦巴山区国土空间格局优化起到积极影响。

关键词: 国土空间; 三区空间; 时空格局; 地形梯度; 驱动机制; 秦巴山区

中图分类号:F301.24 文献标识码:A 文章编号:1009-2242-(2024)02-0278-16

Analysis on the Evolution Characteristics and Driving Forces of Territorial Space Pattern in the Qinling-Daba Mountain Area

YIN Li¹, WEI Wei^{1,2,3}, BO Liming², ZHANG Ke¹, XIA Junnan¹

(1. School of Urban Design, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

- 2. China Institute of Development Strategy and Planning, Wuhan University, Wuhan 430072, China;
 - 3. Center of Hubei Human Habitat Engineering and Technology, Wuhan 430072, China)

Abstract: [Objective] To scientifically understand the spatio-temporal evolution process and formation mechanism of urban space, agricultural space and ecological space in Qinling-Daba Mountain area is the key to promote the overall coordination of the national spatial development pattern and the rise of the central and western regions, and it is also an urgent need for high-quality transformation and development of the region. [Methods] Based on the methods of spatial transfer matrix, topographic location analysis and random forest regression, the spatial and temporal evolution characteristics and driving mechanism of Qinba Mountain region during 2000—2020 were studied from two dimensions of "pattern scale-topographic location". [Results] (1) In the past 20 years, the cities and towns in the Qinba Mountain area expanded dramatically, and the agricultural and ecological space continued to shrink. While the population of 58.33% of the counties decreased, the urban land was still expanding, and the "total population and urban size" showed a serious polarization. (2) The phenomenon was characterized by urban and agricultural space "climbing up the hills",

收稿日期:2023-08-24 修回日期:2023-10-16 录用日期:2023-11-25 网络首发日期(www.cnki.net):2024-02-01

资助项目:国家发展改革委员会重大事项委托项目(201708);湖北省自然科学基金面上项目(2023AFB794)

第一作者: 尹力(1997—),男,博士研究生,主要从事国土空间规划研究。E-mail; Sliver Yinli@126.com

通信作者:魏伟(1976—),男,博士,教授,主要从事国土空间规划研究。E-mail: weiwei@whu.edu.cn

while ecological space "descended into the valleys". The newly added urban and agricultural space was moved up 1 to 2 topographic positions on average. The dam elevation project of Danjiangkou Reservoir downstream had a significant impact on the overall spatial distribution gradient of the mountainous areas. (3) The dynamic adjustment and replacement of "agricultural space to ecological space" was the leading type of transformation in Qinba Mountain area, and the influence of fiscal expenditure was the most significant. Agricultural space was the main source of new towns, and the scale of urban degradation into agricultural and ecological space was significant in Qinba mountain area. (4) Land development policies, mountain terrain attributes, traffic location conditions and social and economic factors jointly restrict and affect the results of territorial spatial evolution in Qinba Mountain area, and there were obvious differences in the effect intensity and the number of significant factors of various types of factors in different conversion directions. [Conclusion] Promoting the concentration of new towns to the key development zones, scientifically guiding agricultural and ecological space to conform to the topographic gradient layout, carefully carrying out water conservancy project construction, and planning the overall regional layout of the "Three districs and Three lines" will have a positive impact on the optimization of territorial spatial pattern in Qinba Mountain area.

Keywords: territorial spatial planning; three-function space; spatio-temporal pattern; terrain gradient; driving mechanism; the Qinling-Daba Mountain area

Received: 2023-08-24

Revised: 2023-10-16

Accepted: 2023-11-25

Online(www.cnki.net): 2024-02-01

秦巴山区南北衔接长江经济带和黄河流域两大 区域重大发展战略地带,东西过渡沿海、中部和内陆 三大经济区域,是协调南北和统筹东中西、实现区域 协调发展战略的关键地区。"十四五"规划明确要求 支持特殊类型地区发展,战略举措上以主体功能区战 略、区域协调发展战略和重大发展战略为核心,新型 城镇化和可持续发展等战略为支撑的国土空间治理 体系已建立。面向空间战略实施,承接主体功能地域 功能定位要求,以国土空间规划为技术手段,实现城 镇、农业和生态空间的合理配置和用途管制,是秦巴 山区国土空间格局优化和发展战略诉求实现的关键 抓手。21世纪以来,西部大开发、退耕还林、南水北 调、扶贫攻坚等一系列政策工程在秦巴山区相继实 施,地区发展水平和国土空间格局不断改善优化,但 受制于发展滞后和山地区域的低承载力特性,城镇发 展、农业生产和生态保护之间的矛盾逐步加剧:城镇 空间扩张和人口聚集导致整体生境质量持续降低[1]; 退耕还林的生态服务价值远少于城镇扩张带来的损 失[2];生态空间的水源涵养能力和土壤保持能力逐渐 下降[3];整体空间供给能力和需求强度错位[4]——失 衡的国土空间格局限制秦巴山区地域功能转型和绿 色可持续发展。此外,秦巴山区地形交通阻隔和行政 区划分割导致国土资源要素难以形成合力,"倾轧式" 的城镇发展模式和各自为政的生态空间保护治理路 径进一步加剧空间资源错配。因此,立足新时期国土 空间治理要求和秦巴山区"国之中央"的特殊区位,从 全域层面构建有序协调的"城镇一农业一生态"空间 用途管制格局,为主体功能区和重大发展战略精准落

地搭建空间支撑平台和功能过渡带,是协调统筹全国 空间发展格局和促进中西部崛起的关键着力点,也是 秦巴山区高质量转型发展亟待解决的重要科学命题。

城镇空间、农业空间和生态空间(简称"三区空 间")是在主体功能区基础上延伸出的国土分类体 系[5],直接对应主体功能区战略中城镇发展、粮食安 全和生态保障的三大地域功能诉求[6]。不同于"三生 空间"(生产、生活和生态空间)强调小尺度下土地利 用的核心功能,"三区空间"一方面更加侧重于大中尺 度国土的主体功能识别和布局管控,另一方面具有边 界清晰易识别、对接政策易落地的实践优势。随着国 土空间规划体系改革的推进,以"三区空间"为核心的 规划分区已成为整合各类分区,助力主体功能降尺度 传导的基本共识[7]。目前相关研究主要集中在效用 评价与实施路径[8-9]、划定技术及"双评价"衔接[10-11]、 体系建构与用途管制方法[12-13]等方面。从研究地域 来看,对长江经济带[14-15]、黄河流域[16]、粤港澳大湾 区[17]等重大发展战略区域的"三区空间"演化与机制 研究成果丰富,但立足区域协调发展战略,针对特殊 发展类型地区的相关研究仍较为缺乏。此外,长期以 来关于秦巴山区的研究成果丰富,但主要集中在脱贫 返贫机制[18]、旅游资源开发[19]和生态环境质量[20]方 面,对区域国土空间结构研究相对较少,主要可概括 为:(1)从土地利用视角,基于遥感解译和地学信息图 谱,对秦巴山区土地时空变化特征及地形效应进行研 究[21-22];(2)以城镇空间为核心,针对扶贫搬迁、避险 移民、经济一人口格局剧烈变化和耦合度下降问题进 行分析[23-25];(3)着眼于农业空间和生态空间重构,对

退耕还林政策成效、生态一经济效益评价及生态系统服务可持续性降低等问题研究^[26-28]。已有研究为深入分析以"三区空间"为核心的秦巴山区国土空间结构演化奠定了坚实基础,但仍存在以下问题:(1)集中于土地利用/覆被研究,宏观发展战略和微观土地利用之间缺乏衔接,空间战略诉求的降尺度传导有待搭建高效路径;(2)分别聚焦于城镇经济提升、农业一生态空间效益优化,地域功能转型和高质量发展需平衡多重利益,"城镇一农业一生态"空间的多种发展诉求需进一步统筹整合;(3)在当前国土空间规划为核心的背景下,较少涉及秦巴山区全局全域、与主体功能战略相衔接的国土"三区空间"空间格局、演化过程及机制测度,对其关键影响因子、形成机理的研究仍然不足。

区域协调发展战略深入实施,国土空间规划用途 管制体系建立,陆上丝绸之路起点建设和新型城镇化 推进——几大国家重大战略的交汇使得秦巴山区在 我国整体国土空间格局中的战略价值愈发凸显,当下 有必要从"三区空间"视角对秦巴山区整体国土空间 格局演化及机制进行系统研究:通过"三区空间"衔接 微观土地利用和宏观发展战略,平衡城镇、农业、生态 三大空间系统诉求,挖掘长时间序列空间演化规律及 内在机制,从而为地区国土空间格局优化搭建高效路 径;通过对这一全国关键地理过渡带、战略衔接带"三 区空间"格局的梳理谋划,为我国整体国土空间格局 优化和区域协调发展搭接空间转接支撑平台。因此, 本文对秦巴山区自西部大开发战略实施以来至近期 (2000-2020年)的国土资源要素格局进行研究,定 量分析"三区空间"的规模增减、空间转化及内在机 制,弥补该区域土地资源在国土空间规划语境下长时 序、整体性研究的缺失,为秦巴山区国土空间格局优 化和高质量转型发展、山地特殊类型区国土空间规划 编制和区域协调发展提供理论借鉴与数据支持。

1 研究区与数据

1.1 研究区概况

秦巴山区涉及陕、甘、川、鄂、豫、渝 5 省 1 市的 120 个县(市/区,含 1 个神农架林区),总面积 30.8 万 km²,主要包括秦岭山地、大巴山山地和汉江河谷盆地 3 个地貌单元(图 1),是"十四五"规划确定的关中平原、兰西、成渝、中原四大城市群的生态源地,兼具生态屏障和跨区域协调两大功能。根据《全国主体功能区规划》《全国生态功能区划》对秦巴山区地域主导功能的定位划分,区域内共包括 3 类国土空间功能区:(1)以汉中、安康、商洛陕南三市为核心,十堰、巴中、广元、达州、陇南等城区为辅,零散"镶嵌式"分布的城镇发展区;(2)以关中盆地南部、陇中、四川盆地和南阳盆地北部为

主,"边缘式"分布的农产品主产区,汉水谷地耕地规模相对较多,但上位主导功能仍然以生态保护划定;(3)以秦岭一大巴山地为主体,包括秦岭山地生态保护区、南水北调中线工程水源区、三峡库区生态保护区3个核心功能区,涉及伏牛山、甘南、丹江口等多个重点生态屏障及源地,"集中连片式"分布的生态保障区。

1.2 数据来源与预处理

(1)数据来源。本文用以提取秦巴山区国土空间 的 3 期(2000年、2010年、2020年)土地利用数据来 源于全球 30 m 地表覆盖数据产品 GlobeLand30,通 过在 ArcGIS 10.6 中对土地数据进行镶嵌、裁切和重 分类生产各时间截面"三区空间"。地形数据来源于 GDEMV3 30 m 分辨率数字高程数据(https:// www.gscloud.cn/),并通过坡度分析、分区统计模块 获得坡度、地形起伏度数据。降水、气温、日照等气象 类数据来源于国家气象科学数据中心(http://data. cma.cn/)。各级行政边界、政府驻地、河流、铁路、道 路、人口密度和生态功能保护区等数据来源于中国科 学院资源环境科学数据中心(https://www.resdc. cn/) 和 地 理 国 情 监 测 云 平 台 (http://www.dsac. cn/)。社会经济类数据来源于各年度《中国县域统计 年鉴(县市卷)》、各省市统计年鉴;政策类数据来源于 各省市主体功能区规划、生态功能区规划、城市群发 展规划及全国农业可持续发展规划。以上数据均以 县域为基本单元进行统计和处理,地形、距离类数据 分区统计至对应行政区单元,社会经济类、气象数据 通过录入 Excel 并求取其变化量用以机制分析。

(2)秦巴山区"三区空间"分类。基于土地覆盖数 据整合"土地利用"尺度为"三区空间"尺度,与主体功 能区地域主导功能识别的方法和理念契合,应首先保 证空间属性判别的出口符合城镇发展、粮食生产和生 态保护三大战略诉求,同时也应确保全域覆盖不重 叠、边界清晰,与国土空间规划的用途管制诉求相结 合,分析结果可指导3条控制线划定。此外,主导功 能并不是唯一功能,如所识别的城镇空间内部并不排 除存在小规模绿地公园、水塘水渠等生态功能用地以 及农业用地,农业空间和生态空间也可能包括小规模 建设用地,但其主导功能必须与分区属性符合,这是 由遥感产品的最低分类精度和最小图斑指标决定的。 基于此,参考已有"三区空间"相关研究[13-16],构建 GlobeLand30 土地分类系统和秦巴山区"三区空间" 的衔接途径(表 1)。需要说明的是,不同于相关研究 中将裸地划分为生态空间,秦巴山区只有2020年因 为城镇开发建设产生 25.61 km²的裸地,位置集中分 布在城市新区周边,且明显与建成区连接、被道路贯 穿,故将其划分为城镇空间。此外,本研究中城镇空 间衔接土地覆盖分类中的人造地表,包括农村居民点,作此划分的原因是将各类居民地、工业及交通设

施作为整体来分析有助于测度秦巴山区"城一乡"建设用地系统的时空变化特征。

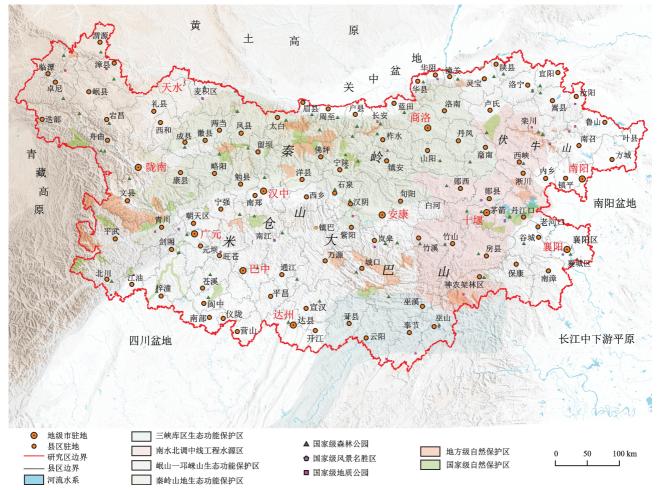


图 1 秦巴山区自然地理条件与城镇现状

 $Fig. \ 1 \qquad Natural \ geographical \ conditions \ and \ urban \ status \ in \ the \ Qinba \ Mountain \ area$

表 1 秦巴山区"三区空间"分类与土地覆盖类型的衔接

Table 1 The connection between the classification of "three-function space" and land cover types in the Qinba Mountain area

三区空间	GlobeLand30 土地覆盖分类体系				
分类	—————————————————————————————————————	二级地类	功能		
城镇 空间	人造地表	由人工建造活动形成的地表,包括城镇等各类居民地、工矿、交通设施等			
	裸地	荒漠、沙地、砾石地、裸岩、盐碱地等	及於		
农业 空间	耕地	用于种植农作物的土地,包括水田、灌溉旱地、雨养旱地、菜地、牧草种植地、大棚用地、以种植农作物为主间有果树及其他经济乔木的土地,以及茶园、咖啡园等灌木类经济作物种植地	粮食 生产		
	森林	落叶阔叶林、常绿阔叶林、落叶针叶林、常绿针叶林、混交林,以及疏 林地等			
生态 空间	草地	草原、林甸、稀树草原、荒漠草原,以及城市人工草地等			
	灌木地	山地灌丛、落叶和常绿灌丛,以及荒漠地区覆盖度高于 10%的荒漠 灌丛等	生态 安全		
	湿地	内陆、湖泊沼泽、河流泛洪湿地、森林/灌木湿地、泥炭沼泽、盐沼			
	水体	陆地范围液态水覆盖的区域,包括江河、湖泊、水库、坑塘等			
	冰川积雪	被永久积雪、冰川和冰盖覆盖的土地,包括高山地区永久积雪、冰川等			

注:资料来源于 GlobeLand30 产品说明书(http://www.globallandcover.com/),经整理。

2 研究方法

2.1 时空演化特征测度

(1)演化格局及规模特征。利用空间统计获取 2000 年、2010 年、2020 年秦巴山区"三区空间"规模总量及空间分布数据,辅以标准差椭圆(standard deviational ellipse, SDE)及重心模型测度城镇、农业、生态空间的分布格局特征,其中:SDE 面积表示展布范围;方位角反映空间分布的主趋势;长短轴分别表示空间要素在主趋势方向和次要方向的离散程度;重心移动的方向及距离反映空间变动状态及演化态势。在此基础上,利用"三区空间"交叉转换矩阵刻画秦巴山区各类空间的交叉转换方向及规模大小。SDE 及重心模型计算公式不再赘述,"三区空间"交叉转换矩阵的计算公式为:

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ S_{n1} & S_{n2} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix}$$
(1)

式中: S_{ij} 为"三区空间"交叉转换的面积; $i \setminus j$ 为研究 初期、末期的空间类型; n 为空间类型个数。本文在 ArcGIS 10.6 中对各期空间数据进行叠加后,并利用乡镇为基本格网单元,统计小尺度上各类空间转换的规模与整体格局分布,为后文驱动机制分析提供参考。

(2)演化地形及位置特征。利用地形位分析法刻画空间演化的地形梯度效应,将地形要素纳入秦巴山区"三区空间"演化特征分析中十分必要——山地地形是秦巴山区的自然地理基础,制约着各类空间演化,坡度、海拔等因素对城镇空间基本规模和扩张程度、农业空间退耕还林和生态空间保护的影响显著。地形位分析包括地形位指数(T)和地形分布指数(P)2个关键指标,其中:地形位指数是耦合"海拔一坡度"的复合地形因子,可定量分析"三区空间"格局与地形梯度的关系;为消除地形位梯度和"三区空间"规模面积差异带来的影响,进一步采用地形分布指数分析不同地形位梯度上的空间分布特征。

地形位指数的计算公式为:

$$T = \log \left[\left(\frac{E}{E_0} + 1 \right) \times \left(\frac{S}{S_0} + 1 \right) \right] \tag{2}$$

式中: T 为地形位指数; E 和 S 分别为空间内任一地区的高程和坡度值; E_0 和 S_0 分别为区域整体的平均高程和平均坡度值; 高程、坡度越大的空间位置地形位指数越大。

基于计算结果,利用等间隔重分类法按照从小到

大将秦巴山区地形位指数分为 18 个级别(间隔为 0.075),再归类为低($1\sim5$)、中低($6\sim10$)、中高($11\sim15$)和高($16\sim18$)4个区段。

地形分布指数的计算公式为:

$$P = \frac{S_{ie}}{S_i} \times \frac{S}{S_e} \tag{3}$$

式中: P 为地形分布指数; S_{ie} 为该地形因子等级下 i 类"三区空间"的规模; S_i 为 i 类空间在整个秦巴山区的规模; S_e 为整个区域内 e 地形等级下的总规模; S 为整个研究区面积。分布指数曲线越陡峭, 表明该类空间对地形具有较强选择性。若 P > 1, 表明该地形位 e 是优势分布地形位, 反之为非优势地形位; P 值越大, 优势度越高。

2.2 演化驱动因素测度

(1)驱动因素选取。"三区空间"演化通常受到人文一自然因素的双重作用,具体驱动因子的选取应在考虑秦巴山区山地地形本底、社会经济发展条件的基础上,进一步衔接国土开发政策、基础设施建设和规划编制中的评价因子,体现"三区空间"的政策属性和用途管制特性。

基于此,本文从国土开发政策、山地地形气候、交 通区位和社会经济 4 个方面选择 24 个指标:①选择 主体功能区规划(X1)、生态功能区规划(X2)、城市 群发展规划(X3)和农业可持续发展规划(X4)共 4 个政策类因子。其中,主体功能区规划和生态功能区 规划依照各省主体功能区规划方案及《全国生态功能 区规划》中对各县区的定位确定,两者决定了当地"三 区空间"演化的基调;此外秦巴山区涉及"十四五"规 划所确定的关中平原、中原、成渝和兰西城市群的外 围地区,且属于《全国农业可持续发展规划(2015— 2030年)》中西北区、青藏区、西南区和黄淮海区的交 叉地带,根据各区县所处位置确定属性后以类别型变 量纳入模型。②衔接国土空间规划"双评价"涉及指 标,选择平均海拔(X5)、平均坡度(X6)、地形起伏度 (X7)、平均降水量(X8)、平均气温(X9)和平均日照 时间(X10)共6个地形气候因子。③选择"双评价" 中对区位优势度的相关评价指标,选择距铁路距离 (X11)、距主要公路距离(X12)、距主要河流距离 (X13)、距市中心距离(X14)和距省会距离(X15)共 5个交通区位因子。④参考秦巴山区相关土地利用 转型研究^[21,24,29],选择总人口(X16)、城镇化率 (X17)、地区生产总值(X18)、第一产业增加值 (X19)、第二产业增加值(X20)、第三产业增加值 (X21)、平均人口密度(X22)、农业机械总动力

(X23)和财政支出(X24)共 9个社会经济因子,测度秦巴山区"三区空间"演化影响因素。

(2)回归模型和检验。采用随机森林回归模型 (random forests regression, RFR)探测关键影响因 素及对其重要性排序,辅以线性回归拟合交叉验证关 键因素与典型空间演化的相关关系。在空间依赖性 检验时发现,由于山地地形影响,秦巴山区"三区空 间"演化的空间相关性并不显著,而随机森林回归模 型是一种非参数回归技术,可依据"三区空间"演化的 自身规律训练样本集并建立决策树组成随机森林进 行回归,可有效避免噪声对回归模型的影响,对受制 于地形分割的秦巴山区机制分析较有优势。同时, RFR 模型支持将类别型变量纳入分析模型,为量化 探测国土开发政策类因子提供了可能,分析时将所选 取的政策因子以县域为基准单元通过空间链接至对 应行政边界,主体功能区规划依据定位类型确定所属 类别,生态功能区规划、城市群发展规划和农业可持 续发展规划依照是否位于分区内、位于何种类型分区 内划分为不同类别后链接至对应分区。模型精度评 价可采用决定系数(R2)、平均绝对误(mean absolute error, MAE) 和均方根误差(root mean squared error, RMSE)来衡量。其中,R²是模型回归后拟合 值和观测值的拟合程度,取值范围为「0,1],越接近 1说明回归模型的拟合效果越好; MAE 和 RMSE 越 小模型效果越好;对于政策类因素以因子型变量纳入 模型进行回归。

此外,利用 IncMSE 方法获取随机森林回归下各 影响因素的重要性排序,即将各自变量随机取值后代 入模型观察相对误差的提高程度,IncMSE%值越大, 说明该变量越重要。关键指标的计算公式为:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{n} (P_{i} - \bar{P}) (O_{i} - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} (P_{i} - \bar{P})^{2}} \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (O_{i} - \bar{O})^{2}}}$$
(4)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (P_{i} - O_{i})^{2}}{n}}$$
 (5)

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n} |P_{i} - O_{i}|}{n}$$
 (6)

式中: O_i 为第 i 个县区实际"三区空间"交叉转换的规模; P_i 为第 i 个县区的拟合转换规模; P 为整个秦巴山区该类"三区空间"交叉转换规模拟合的平均值;O 为实际观测的平均值。

3 秦巴山区国土空间格局演化特征

3.1 整体时空格局演化

2000—2020 年秦巴山区城镇空间增幅剧烈,生态空间和农业空间持续缩减,整体空间分布格局未发生显著改变(图 2、表 2)。

分析可知:(1)城镇空间变化幅度最大,20年间 共增加3280.95 km²,增幅达107.35%,汉水谷地沿 线"汉中一商丹一安康一南阳"盆地区域和秦巴山区 北部与关中平原交接区城镇扩张规模大、位置集中连 片,其余地区增加规模小且空间分散。值得注意的 是,同时期秦巴山区总人口仅增加24.07万人,人均 新增城镇规模达1.36万 m²,除镇坪县城镇规模略微 减少0.04 km²外,其余119个县区城镇均在扩张,"城 镇扩张一人口减少"的县区数量占比达58.33%;而 "城镇扩张一人口增加"类型的县区主要以达州、广 元、襄阳、南阳、汉中、商洛、天水和十堰等地级市的区 级行政单元为主,仅有53.37%的新增城镇规模位于 该类型区,表明秦巴山区城镇扩张规模在不同地区、 不同级别行政单元之间出现分异,城镇"人口总量一 城镇规模"在不同县区之间出现严重两极分化。

(2)农业空间减少规模最大,近 20 年共减少 $1.894.68 \text{ km}^2$,秦巴山区中部、北部和东部地区减少,但南部稍有增加。十堰($-.215.03 \text{ km}^2$)、商洛($-.173.53 \text{ km}^2$)、汉中($-.168.79 \text{ km}^2$)、陇南($-.146.65 \text{ km}^2$)等市级单元减少较尤明显,空间位置与城镇空间的增加区域相吻合,且农业空间缩减速率和城镇扩张速率呈现明显协同效应;仅有巴中($+.164.94 \text{ km}^2$)、广元($+.52.79 \text{ km}^2$)和神农架林区($+.16.30 \text{ km}^2$)农业空间增长。

(3)生态空间作为秦巴山区的主体,近20年减少1386.27 km²,整体变化幅度不大,其中南阳伏牛山地区减少最为显著,其余减量主要集中在襄阳、巴中、广元等县级单元。

(4)对比各年度标准差椭圆,农业空间和生态空间的整体分布格局变化不大,生态空间尤其稳定;但城镇空间椭圆面积逐渐增加,X轴、Y轴标准差增大,重心呈现北移西进的态势,说明秦巴山区城镇空间分布日益分散,且发展重心向汉中方向拓展。

整体来看,汉水谷地沿线几大盆地、北部关中平原、东部南阳盆地过渡区的"三区空间"规模变化较其他地区更为剧烈;城镇空间扩张、农业和生态空间减少是秦巴山区整体趋势,但农业空间和生态空间在不同区位的县区之间有明显分异,规模增加和缩减现象并存。

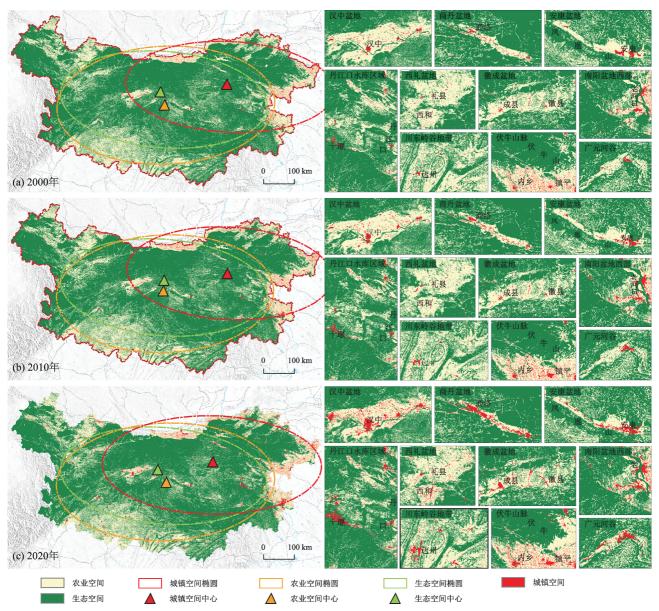


图 2 2000年、2010年、2020年秦巴山区"三区空间"演化

Fig. 2 Evolution of the "Three-function space" in the Qinba Mountain area in 2000, 2010 and 2020 表 2 2000 年、2010 年、2020 年秦巴山区"三区空间"数据

Table 2 "Three-function space"data of Qinba Mountain area in 2000, 2010 and 2020

三区空间 -	2000年		2010年		2020 年		2000 - 2020	2000 - 2020
	用地面积/	占总面积比/	用地面积/	占总面积比/	用地面积/	占总面积比	年用地总量	年用地总量
类型	km^2	0/0	km^2	0/0	km^2	/ 10/0	变化规模/km²	变化幅度/%
城镇空间	3 056.43	0.99	4 130.51	1.34	6 337.38	2.06	+3280.95	+107.35
农业空间	88 283.01	28.65	87 903.50	28.53	86 388.33	28.04	-1894.68	-2.15
生态空间	216 753.63	70.35	216 059.06	70.13	215 367.36	69.90	-1 386.27	-0.64
合计	308 093.07	100.00	308 093.07	100.00	308 093.07	100.00	_	

3.2 交叉转换特征

根据公式(1)计算 2000—2020 年秦巴山区"三区空间"时空交叉转换的方向及规模,并利用 ArcGIS 10.6 计算各类空间交叉转换的位置、形状及分布格局(图 3、表 3)。

分析可知:(1)"农业空间一生态空间"之间互相

交叉转换是秦巴山区的主导转换类型,近20年间共有8982.44 km²农业空间转为生态空间,同时9840.93 km²的生态空间转换为农业空间,两者分别占到总转换规模的38.44%,42.11%,动态转换特征最为显著;从时间段来看,前10年生态转农业空间(8119.73 km²)规模明显大于农业转生态空间

 $(7\ 560.84\ km^2)$,后 10 年两者的相互转换规模均有 大幅下降且大体持平(分别为 $6\ 750.40\ km^2$, $6\ 402.20\ km^2$),这表明生态和农业空间的转换幅度有所下降, 可解释为随着退耕还林还草等生态建设工程的陆续 开展,农业空间转为生态空间的相对规模有所提升, 地区"生态一农业"空间格局逐步稳定。

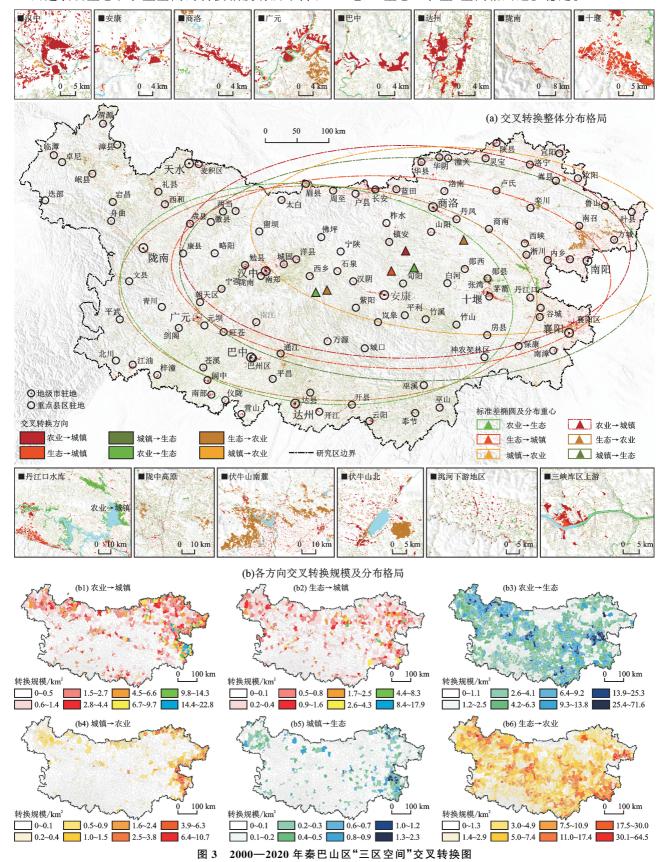


Fig. 3 Cross transformation map of "three-function space" in Qinba Mountain area from 2000 to 2020

(2)农业空间是城镇空间扩张的主要来源,共计转出规模 3 312.51 km²,占新增城镇的 84.65%;生态空间是新增城镇空间的次要来源,转换规模为 600.59 km²;从空间分布来看,前 10 年城镇空间的扩张主要局限于汉中、安康、南阳、襄阳等地区中心城市的中心城区周边,后 10 年则逐渐向周边县区蔓延,主要集中在地形平坦、人口稠密的汉水谷地、关中盆地南部及南阳盆地周边。

(3)城镇剧烈扩张的同时,退化现象仍然明显,近20 年共计559.34 km²城镇空间退化为农业空间,72.82 km² 退化为生态空间;秦巴山区北部、东部外围边缘区是退 化的主要地区,鄂西北、豫西地区退化为农业空间最为 明显,陇南、关中平原南部次之;退化为生态空间的城镇 总规模小,空间分布更为零散,丹江口水库、崤山、熊耳 山较为剧烈,与当地实行生态修复工程密切相关。

(4)运用标准差椭圆对交叉转换整体格局进行分 析发现,各标准差椭圆均分布在汉水谷地附近,主轴 方向为东一西向,与秦岭走向大体一致,各类型标准 差椭圆重心集中在陕南地区;从重心转移来看,城镇 空间重心向西南迁移较为明显,但始终在山阳县南 部;农业空间中心向西南略微移动;生态空间转换格 局稳定,重心几乎无变化。总体上,近20年秦巴山区 "三区空间"交叉转换现象十分明显,相较于整体演化 中城镇空间猛烈扩张、农业和生态空间变化不显著的 静态特征,"农业空间一生态空间"互相动态转换是才 是内部空间变化的主导类型,地区"农一林"格局进行 了深刻重构;此外,不同交叉转换类型的空间分布特 征差异明显,农业一城镇空间、生态一城镇空间之间 的变化是局部的,而农业一生态空间却是整体性、全 域的,这和秦巴山区衔接我国二三级阶梯,位于生态 过渡带的典型区位特征密切关联。

表 3 2000—2020 年秦巴山区"三区空间"交叉转换矩阵
Table 3 The cross transformation matrix of "three
function space" in Qinba Mountain area from
2000 to 2020 km²

2000 年三区空	2020 年三区空间类型				
间类型	城镇空间	农业空间	生态空间	合计	
城镇空间	2 424.28	559.34	72.82	3 056.43	
农业空间	3 312.51	75 988.07	8 982.44	88 283.01	
生态空间	600.59	9 840.93	206 312.11	216 753.63	
合计	6 337.38	86 388.33	215 367.36	308 093.07	

3.3 地形梯度效应

利用公式(2~3)计算各年度空间分布、交叉转换位置的地形位指数和分布指数(图 4),进一步挖掘地形因子对"三区空间"演化的影响作用。从整体分布来看(图 4a~图 4c):(1)2000—2020 年除城镇空间地形分布特征产生轻微变化外,农业、生态空间较为稳

定,不同空间类型的优势分布区间具有显著差异,地 形因素对秦巴山区"三区空间"整体格局形成尤为重 要;(2)城镇空间的分布指数随地形位分级增加而减 少,优势分布区间(p > 1)集中在低区段($1 \sim 5$ 区段), 3级地形位(对应坡度约5.58°)是影响秦巴山区城镇 分布的关键节点,超过此节点地形位分级的增加会导 致城镇分布指数剧烈下降,直至到非优势区段变动平 缓;值得注意的是,地形位分级最低的1区段最适宜 城镇开发,但城镇空间的分布指数明显比次优势地形 位2区段低,反而生态空间在该区段的分布指数呈现 相反特征,说明受制于秦巴山区典型的地形特征,海 拔低、坡度小、最适合开发建设的用地被河流、滩涂及 湿地等生态空间占据,城镇空间只能在次级适宜区开 发;同时,20年间城镇空间在1~2区段的缩减最为 明显,而在非优势区段(6~7区段)却有所上升,侧面 说明秦巴山区新增城镇在不断向更高地形位扩张; (3)农业空间、生态空间的地形分异特征尤其明显,7 级地形位是两者优势分布区段的分界点(对应坡度约 19.58°);1~7区段是农业空间的优势分布区间,20 年间分布指数在1~4区段不断降低,但在5~11区 段不断增加,其变化趋势和城镇空间趋同;7~11区 段是生态空间的优势分布区间,分布指数变化幅度较 小,在中高、高地形位持续增加。

从"三区空间"各类型交叉转换来看(图 4d~图 4f):(1)中低地形位区段是各类型交叉转换的主要发 生区,高地形位区段交叉转换现象并不显著;城镇退 化为农业、生态空间的分布指数随着地形位梯度升高 呈现减少趋势,最优势区段在1~2地形位,而农业、 生态空间转为城镇空间最优势区段在2~3区段; (2)农业一生态空间的相互交叉转换最为显著,在地 形位分布上呈现正偏态分布,2~8区段范围是两者 转换的优势区间,5级地形位上两者地形分布指数均 达到局部最大,这种分布特征和退耕还林政策所规定 的坡度、地形标准紧密相关;其中较为特殊的是农业 转生态空间在1级地形位上分布指数达到2.15,而在 2级地形位却陡然下降至1.30,这一方面表明生态空 间不仅在高地形位上占有优势,且在最低地形位有所 扩张,另一方面和秦巴山区南水北调中线源头工程中 加高丹江口水库 54 个坝段导致整体蓄水平面上升有 密切关系;(3)进一步依据动态过程及最终是否发生 转换,将交叉转换类型分为退化型交叉转换和持续型 交叉转换。在退化型交叉转换中,"农业→生态→农 业"和"生态→农业→生态"的变化趋势基本相似,优 势区间在3~9区段,分布区段范围最广,其中不同于 两者最终交叉转换最具优势的5级地形位,仅高出1 级的6级地形位中退化现象最为显著,表明地形因素

对"农业一生态"空间的分布起到了基础性制约,高于 优势地形位的退耕还林、还草并不稳定;(4)在持续型 交叉转换中,优势分布区间整体在1~7区段,分布指 数随着地形梯度的升高而减少,其中较为特殊的是 "农业→生态→城镇""生态→农业→城镇"的最大地 形分布指数分布在3~4级地形位,说明该区段的农 业和生态空间交叉转换结果在一定程度上成为了城

镇空间。总体来看,近20年秦巴山区城镇、农业空间 "上山爬坡",生态空间在最低地形位显著扩张,下游 大坝的加高对区域整体低地形位上的空间类型分布 影响明显;此外,地形梯度对"农业一生态"交叉转换 的分异作用明显,5级地形位是关键分区节点(对应 坡度约 11.75°),高于 5 级的交叉转换更易发生退化, 低于5级的更易受到城镇空间扩张的影响。

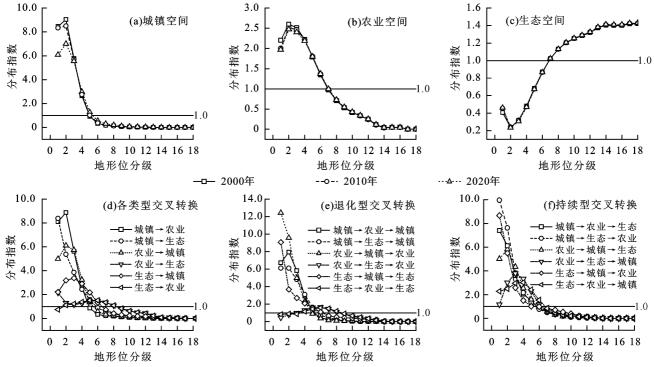


图 4 2000—2020 年秦巴山区各类"三区空间"及交叉转换的地形分布指数

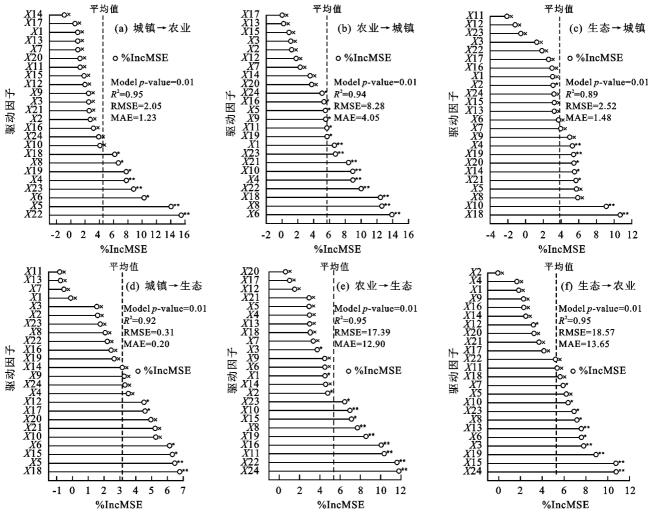
Terrain distribution index of various "three-function space" and cross transformation in Qinba Mountain area from 2000 to 2020 秦巴山区国土空间格局演化机制

随机森林回归验证及影响因子重要性排序

将所选取的24个影响因子与秦巴山区6种"三 区空间"交叉转换进行随机森林回归分析,分别计算 回归模型的 R^2 、MAE 和 RMSE,并且通过 999 次置 换得到模型整体与各影响因子的显著性水平,并比较 各类空间转换的模型拟合值和实际观测值误差(图 5)。结果显示,6种空间交叉转换均通过显著性水平 为 0.01 的检验,说明所建立的模型拟合效果好,可有 效解释各影响因子对"三区空间"演化的影响重要性 大小。具体包括:(1)城镇空间一农业空间互相交叉 转换的随机森林模型整体效果最好,城镇转农业、农 业转城镇空间的 R^2 分别达到 0.95, 0.94, 显著的影响 因子数量相对较多;(2)农业空间一生态空间的相互 交叉转换回归效果次之,农业转生态、生态转农业的 R^2 均为 0.95,但 RMSE 和 MAE 较大,主要由于秦巴 山区实际中各单元此类转换规模总量大导致拟合后 误差相对较大产生;(3)生态空间一城镇空间的转换 模型 R^2 不高,内部显著影响因子数量相对较少,实际 中可能与该类型转换具有强政策性、工程性的属性有

关,但模型通过了显著性水平 0.01 的检验。

利用 IncMSE 方法获取随机森林回归下影响因 素的重要性排序,综合各类型交叉转换的 IncMSE% 值排序结果进行分析可知,秦巴山区"三区空间"演化 受到国土开发政策、山地地形气候、交通区位条件和 社会经济因素的综合制约和影响,各类因素在不同转 换方向的作用强度和显著因子数量具有显著差异。 具体包括:(1)社会经济因素的作用最为重要,对6种 交叉转换均具有较多且显著性强的因子,是近20年 秦巴山区"三区空间"演化的主要驱动因素;其中地区 生产总值对城镇扩张和退化的作用明显,第一产业增 加值、农业机械总动力对农业空间的交叉转换影响显 著;(2)山地地形气候的作用广泛,尤其对农业转城镇 空间、农业一生态空间相互交叉转换等秦巴山区主要 发生交叉转换的空间类型影响显著;其中海拔、坡度、 地形起伏度对城镇空间关系密切,降水、日等气象类 因子对农业、生态空间的转换较为重要;(3)国土开发 政策和交通条件类因素仅在部分转换中呈现显著影响 作用,且重要程度和政策内容导向、交通条件需求密切 相关,是推动特定"三区空间"交叉转换发生的关键。



注:***表示在0.001 水平上显著;**表示在0.1 水平上显著;*表示在0.05 水平上显著;×表示未通过显著性检验。

图 5 2000—2020年秦巴山区"三区空间"交叉转换的影响因子重要性排序

Fig. 5 The importance ranking of influencing factors for the cross transformation of "three function space" in Qinba Mountain area from 2000 to 2020

4.2 驱动机制分析

基于随机森林回归模型结果(图 5),进一步结合部分关键因子和与其对应的空间交叉转换类型进行相关性分析及线性回归拟合(图 6),综合阐述秦巴山区"三区空间"形成机制。按照前文对交叉转换特征的分析结果,将研究区 6 种交叉转换类型划分为城镇扩张("农业→城镇""生态→城镇"),城镇退化("城镇→农业""城镇→生态"),以及农业一生态相互转换3 种类型进行分析。

4.2.1 城镇空间扩张 秦巴山区城镇扩张整体上是政策一地形一气候一交通一经济综合影响的结果,其中农业转城镇空间主要受到社会经济一地形气候的双重作用,而生态转城镇空间受社会经济因素的影响更显著。

具体包括:(1)坡度是影响秦巴山地农业转城镇空间排序第一重要的因子(图 5b), IncMSE% 达13.90,线性拟合中两者相关性达到-0.64(图 6h),不同于平原地区以财政支出、GDP、城镇化率等因子为

主导的城镇扩张,大坡度的山地地形本底是制约秦巴 山地城镇发展的关键;(2)GDP、人口密度、第三产业 增加值、农业机械总动力、总人口、财政支出等社会经 济类因子对农业转城镇空间的影响也较为重要,值得 注意的是,不同于 GDP 和财政支出的正向驱动作用, 总人口和人口密度对却呈现两极化的作用方向(图 6i、图 6l),即人口的增加、减少均能引起城镇空间的 扩张,实际中和秦巴山区人口流动的新特征紧密相 关,陕南三市、襄阳、十堰、广元等地区市辖区行政单 元人口增加的同时规模扩张,而远离中心城市、处于 各省交界区的县级单元人口流失严重,但地方政府仍 以财政支出支撑城镇扩张,将其作为地区发展主要动 力,表现为近20年间"人口减少一城镇扩张"类型区 县的财政支出增量占到地区总量的 56.48%,导致部 分地区城镇"人口一规模"之间失衡;(3)生态转城镇 空间中 GDP 的影响最为重要, IncMSE% 值达到 10.70,相关系数为 0.56,此外第三、二、一产业增加值 等社会经济类因素的作用尤为显著,说明秦巴山区社 会经济的发展是导致城镇侵占生态空间的重要驱动力,较为典型的区域包括承担重要生态功能的甘南、定西、神农架林区、陇南等地区,城镇发展的实际需求和生态保护的战略定位之间存在矛盾。此外,主体功

能区规划、生态功能区规划、农业可持续发展规划等 政策类因素和距铁路距离、距市中心距离等交通区位 因素也对城镇空间扩张起到驱动作用,但整体作用不 如前两类因子明显。

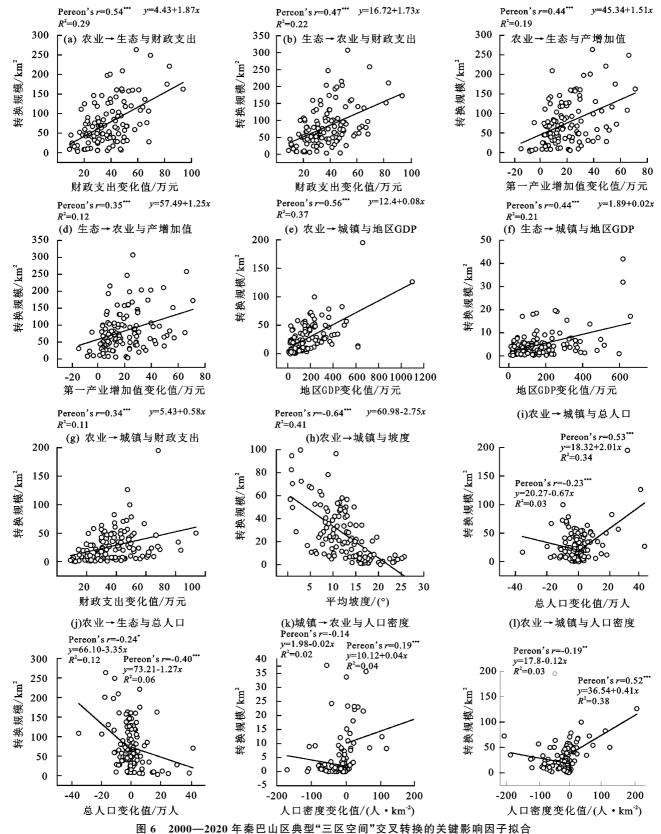


Fig. 6 Fitting of key influencing factors for the cross transformation of typical "three function space" in the Qinba Mountain area from 2000 to 2020

4.2.2 城镇空间退化 秦巴山区城镇扩张的同时退 化现象依然显著,其中退化为农业空间占到了主导优 势,海拔、坡度和 GDP 是城镇退化的共性影响因子, 其余政策、地形气候、交通及经济类因子对城镇退化 为农业、生态空间的作用方向及重要性有所差异。分 析可知:(1)人口密度是影响城镇退化为农业空间第 一重要因子,IncMSE%高达 15.48%,其余社会经济 类因素包括农业机械总动力、第一产业增加值和 GDP; 地形气候因素则包括海拔、坡度和降水; 实际 中要从2个方面来看,一是随着易地扶贫搬迁、生态 工程实施,部分人口密度低、高海拔、大坡度的乡村居 民点撤并至中心乡镇/县区,原有居民点复耕复种导 致城镇退化,如岷县、洋县、略阳等县区的整村规模移 民,该类型在秦巴山区中较为分散,每个县区占比并 不高;二是人口密度快速增加、具有良好机械化耕种 潜力的中心城市郊区,其在城市扩张中对外围乡村、 零散城镇进行了统筹规划,加之耕地占补平衡政策使 得在小区域内实现了城镇一农业空间的重新布局,该 种类型与中心城市的分布格局和空间影响范围高度 一致,襄阳、南阳、西安、陕南三市等区级行政单元尤 为明显。(2)农业可持续发展规划分区作为政策引导 对城镇退化为农业空间起到了关键作用,其在重要性 排名中处于第 5 位, IncMSE%值为 7.79, 排序高于一 产增加值、降水和 GDP 等因子,实际中黄淮海区的高 标准农田建设、西北区对坡地玉米、马铃薯的扩大种 植和西南区还耕地的梯田改造等措施,有效促使了部 分复耕城镇空间的农业化利用。(3)城镇退化为生态 空间的显著性影响因子共 6 个,排序为 GDP>海 拔>距省会距离>坡度>城镇化率>距主要道路距 离,其中海拔、坡度对该种转换类型的空间分布分异 作用显著,即"高海拔一大坡度"的山体和"低海拔一 小坡度"的水库谷地均易发生城镇退化生态空间,实 际中前者与秦岭、大巴山近20年持续实施的护林造 林工程密切相关,一部分远离城市、道路的生态敏感 区居民点搬迁后恢复生境,另一部分则因为山体滑 坡、泥石流等地质灾害覆盖了原有城镇空间;而后者 则与丹江口水库大坝加高工程导致的水库移民关系 紧密,其恰好与前文地形梯度特征中秦巴山区低地形 位上的生态空间剧烈扩张相吻合。

4.2.3 农业一生态空间互相转换 农业转生态空间、生态转农业空间是秦巴山区近 20 年"三区空间" 交叉转换的主导类型,财政支出是两者共同的第一驱动力,IncMSE%值分别达到 11.82%,10.78%,表明以财政支出为代表的政府决策和资源配置导向对地区"三区空间"格局影响最为深远。此外,第一产业增加值、农业机械总动力等社会经济因素,距省会距离

等交通区位因素,降水、日照等地形气候因素对2种 交叉转换均具有影响作用。具体包括:(1)农业转生 态空间的显著影响因子较多,具体重要性排序为财政 支出>人口密度>距铁路距离>总人口>第一产业 增加值>降水>距省会距离>日照时数>农业机械 总动力>生态功能区规划>主体功能区规划,其中排 名靠前的主要是社会经济类因子,实际中一些远离中 心城市、总人口和人口密度少,降水及日照条件不适 合耕种的农业空间因为退耕还林政策更容易被还原 成生态空间,典型地区如川北达州、广元、巴中,陕南 安康、汉中等外围区县地通过核桃、板栗等林特产品 种植不仅提高了一产增加值,同时将大量原有耕地转 为林地,另一部分如丹江口、十堰等地区因为水利工 程导致大量耕地被水面淹没形成生态空间,两种具体 演化类型均需要大量的财政投入,因此导致财政支出 因子的作用显著;(2)不同于社会经济和政策因素对 农业转生态空间的影响较大,坡度、海拔、地形起伏 度、日照等地形气候因素,距离行政中心距离、距道路 距离等交通区位因素对生态转农业空间的影响作用 更为显著;结合该类转换主要所呈现"大聚集一小分 散"的分布特征来看,地形气候类因子是分散格局形 成的关键,20年间不同区县大部分农业一生态空间 边界带发生了交替演化,两类空间的界线较为模糊, 由于坡度、海拔、日照等地形及气候条件差异,原有生 态/农业空间转为更加适宜的空间类型,该类变化在 研究区内变化量小,但基数大,奠定了秦巴山区空间 演化的主体;而交通区位类因子是"大集中"格局形成 的重要动因,生态空间集中连片转为农业空间主要发 生在距中心城市较近、交通条件好的区县,典型的如 豫西南阳、方城,川北广元、通江和陇中部分地区的郊 区/县产生大量新增的农业空间,实际中这些区县是 秦巴山区人口快速增加的区域,与解决新增城镇人口 粮食安全所实行的"重耕稳粮"战略、高标准农田建设 等工程密切关联;(3)此外,秦巴山区这种整体的"农 业一生态"空间格局变化均能促进地区第一产业发展 水平提高,与一产增加值的相关性分别高达 0.44,0.35, 呈显著正相关;其中生态转农业增加耕地面积,且由于 高标准农田建设提升机械化水平,总规模增加和单位 耕作成本降低共同促使第一产业产值上升;而农业转 生态空间中虽然耕地规模减小,但由于高附加值的经 济林果、中药材种植规模的增加,也促进第一产业发 展,从侧面表明山地地区部分生态空间也可产生经济 效益,生态保护和地区发展之间存在协同路径。

5 讨论

在秦巴山区地域功能转型发展受阻、生态保护和 城镇发展矛盾日益凸显的现实背景下,从更宏观视角 确定区域发展战略定位,通过国土"三区空间"格局合 理优化和用途管制倒逼地区发展转型或可成为高效 实践路径。从近20年秦巴山区国土空间演化来看, 普遍的城镇扩张和地区人口流动重组的新趋势间并 不协调,人口流失区通过财政支出以新城建设带动地 区经济发展的开发模式不仅造成大量的低效城镇空 间,更透支地区未来转型发展所需的后备土地和资 金。此外,位于气候过渡带的特殊区位和地形气候条 件从根本上引导/制约着地区国土演化,人一地之间 的交互及反馈作用将十分显著,上层空间战略的制定 和人类经济活动、水利工程建设的进行既需要尊重空 间演化规律,也需要利用这种演化趋势谋求更大空间 综合效益。结合区域"三区空间"演化特征及发展实 际,秦巴山区国土空间优化还需补足的短板为:(1)顺 应山区人口流动与空间分布新趋势,推动新增城镇向 重点开发区集中,遏制人口流失县区城镇空间进一步 扩张,其中部分人口流失,但发展潜力强、对防止区域 城镇体系进一步极化有积极作用的区县可适当放宽, 最终应依托陇南、汉中、安康、商洛、十堰、巴中等地区 中心城市构建符合山地地域系统的城镇等级体系; (2)依据各区县不同地理条件,科学引导农业空间和 生态空间布局,防止退耕还林再复耕、新造林地退化, 严格执行相关工程标准的同时也应同时考虑具体地 区的地形、日照、降水等自然因子;(3)慎重进行水利 工程建设,需从更大尺度评估工程对地区国土空间格 局的影响作用,尤其对上游地区原有地形梯度下所形 成的人地系统改变需要严格论证;(4)结合"三区三 线"划定,通过整体谋划各县区"三区空间"规模参数 比例,进一步平衡、协调"城镇发展一农业生产一生态 安全"之间多重诉求,5省1市之间可统筹谋划秦巴 山区这一完整地域单元,再将规划管控指标分解至各 行政管辖主体,防止"九龙治水"和空间资源错配。须 注意的是,农业和生态空间动态转换在秦巴山区格外 剧烈,刚好印证近期部分学者所提出的泛"胡焕庸线" 过渡带[30]的国土空间变化规律,秦巴山区不仅是链 接该过渡带南北的中点,更是几大重点发展战略衔接 和区域协调发展的关键地区,至于如何针对这种特殊 的空间变化特征进行政策制定和战略响应,需要后期 从更宏观时空尺度、国家整体战略布局中统筹谋划。

6 结论

(1)近 20 年秦巴山区城镇剧烈扩张、农业和生态空间持续缩减,汉水谷地沿线几大盆地、北部和东部山地一平原过渡区的国土空间演化较其他地区更剧烈;城镇扩张规模在不同地区、不同级别行政单元之间出现分异,占比 58.33%的县区在人口减少的情况下依然呈扩张态势,"人口总量一城镇规模"出现严重

两极分化;农业空间和生态空间在不同区位的县区间分异明显,规模增加和缩减现象并存。

- (2)农业一生态空间互相动态转换是秦巴山区内部空间变化的主导类型,集中分布于"西北一东南"对角的带状区域,与胡焕庸线趋于垂直;农业空间是城镇扩张的主要来源,同时也是城镇退化的主要去向;城镇退化为生态空间更易发生在"高海拔一大坡度"的山体和"低海拔一小坡度"的谷地;不同于城镇一农业空间、城镇一生态空间之间的变化是局部的,农业一生态空间是整体性的,在全域范围显著。
- (3)秦巴山区 20 年间城镇和农业空间"上山爬坡"、生态空间"下谷"现象明显,新增城镇、农业空间平均上移 1~2 个地形位,生态空间在最低地形位的分布指数长幅明显;整体分布格局上逐渐呈现地形位由低到高"生态—城镇—农业—生态"为优势分布空间类型的梯度分级;5 级地形位是"生态—农业"空间转换的关键分区节点,高于5 级的该类交叉转换更易退化为原空间类型,低于此地形位的更易受到城镇扩张的影响,地形因素对秦巴山区"三区空间"整体格局和演化起到基础性制约。
- (4)秦巴山区"三区空间"演化是国土开发政策、 山地地形气候、交通区位条件和社会经济因素综合制 约影响的结果,各类因素在不同转换方向上的作用强 度和显著性因子数量有明显差异;社会经济和山地地 形在秦巴山区空间演化中作用最为广泛,国土开发政 策和交通区位条件仅在部分转换类型中呈现显著影 响作用,是推动特定转换发生的关键。不同于平原地 区以人口、GDP等要素为驱动的城镇扩张,坡度是秦 巴山区城镇空间规模增加的首要驱动因子;人口密度 的变化和总人口在不同等级城市间的重新布局对城 镇退化的影响尤为显著,山地区域下游水利工程的建 设会对地区整体"三区空间"格局产生影响;政府财政 支出对"农业一生态"空间互相交叉转换的影响最为 重要,以政策和社会经济为主的人类活动,地形和交 通区位条件为代表的地理基础,两者共同作用下实现 了秦巴山区"农一林"格局的重构。

参考文献:

- [1] 贾磊,姚顺波,邓元杰,等.2000—2020 年陕西秦巴山区 生境质量时空演变及其地形梯度效应[J].长江流域资 源与环境,2022,31(2):398-413.
 - JIA L, YAO S B, DENG Y J, et al. Temporal and spatial evolution of habitat quality and its topographic gradient effect in Qinling-Daba mountain area, Shaanxi Province, 2000—2020[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2022, 31(2):398-413.
- [2] 张玉,王介勇,刘彦随.陕西秦巴山区地域功能转型与高质量发展路径[J].自然资源学报,2021,36(10):

- 2464-2477.
- ZHANG Y, WANG J Y, LIU Y S. Regional function transformation and high-quality development path in Qinling-Daba Mountains of Shaanxi Province[J]. Journal of Natural Resources, 2021, 36(10): 2464-2477.
- [3] 李文青,赵雪雁,杜昱璇,等.秦巴山区生态系统服务与居民福祉耦合关系的时空变化[J].自然资源学报,2021,36(10):2522-2540.
 - LIW Q, ZHAO XY, DUYX, et al. Spatio-temporal changes of the coupling relationship between ecosystem services and residents' well-being in Qinba Mountains Area[J]. Journal of Natural Resources, 2021, 36 (10): 2522-2540.
- [4] 敬博,李同昇,祁航,等.基于供需匹配模型的秦巴山区 人地关系均衡状态及空间管控研究[J].长江流域资源 与环境,2020,29(3):654-667.
 - JING B, LI T S, QI H, et al. Research on equilibrium state and space control of man-land relationship in Qinba Mountains on the base of supply and demand matching model[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2020, 29(3):654-667.
- [5] 樊杰,郭锐."十四五"时期国土空间治理的科学基础与战略举措[J].城市规划学刊,2021(3):15-20. FAN J, GUO R. Scientific foundations and strategies of
 - national territorial spatial governance during the 14th five-year-plan period in China [J]. Urban Planning Forum, 2021(3):15-20.
- [6] 王颖,刘学良,魏旭红,等.区域空间规划的方法和实践 初探:从"三生空间"到"三区三线"[J].城市规划学刊, 2018(4):65-74.
 - WANG Y, LIU X L, WEI X H, et al. The method and practice of regional spatial planning from "three basic space" to "three-zones and three-lines" [J]. Urban Planning Forum, 2018(4):65-74.
- [7] 樊杰.地域功能一结构的空间组织途径:对国土空间规划实施主体功能区战略的讨论[J].地理研究,2019,38 (10):2373-2387.
 - FAN J. Spatial organization pathway for territorial function-structure: Discussion on implementation of major function zoning strategy in territorial spatial planning [J].Geographical Research, 2019, 38(10):2373-2387.
- [8] 樊杰,周侃.以"三区三线"深化落实主体功能区战略的理论思考与路径探索[J].中国土地科学,2021,35(9):1-9. FAN J, ZHOU K. Theoretical thinking and approach exploration on deepening the implementation of major function zoning strategy with "three-zones and three-lines"[J].China Land Science,2021,35(9):1-9.
- [9] 张尚武,刘振宇,王昱菲."三区三线"统筹划定与国土空间布局优化:难点与方法思考[J].城市规划学刊,2022 (2):12-19.
 - ZHANG S W, LIU Z Y, WANG Y F. Delineation of

- the "Three zones and Three lines" and optimization of spatial layout: Obstacles and methodological thinking [J]. Urban Planning Forum, 2022(2):12-19.
- [10] 魏旭红,开欣,王颖,等.基于"双评价"的市县级国土空间 "三区三线"技术方法探讨[J].城市规划,2019,43(7):10-20. WEI X H, KAI X, WANG Y, et al. Discussions on the methods of "three zones and three lines" implementation at the spatial levels of city and county based on "double evaluations"[J].City Planning Review,2019,43(7):10-20.
- [11] 吴桐,岳文泽,夏皓轩,等.国土空间规划视域下主体功能区战略优化[J].经济地理,2022,42(2):11-17,73. WU T, YUE W Z, XIA H X, et al. Optimization of major function zoning strategy from the perspective of territorial spatial planning [J]. Economic Geography, 2022,42(2):11-17,73.
- [12] 郭锐,陈东,樊杰.国土空间规划体系与不同层级规划间的衔接[J].地理研究,2019,38(10):2518-2526. GUO R, CHEN D, FAN J. Territory spatial planning system and the convergence between different levels[J]. Geographical Research,2019,38(10):2518-2526.
- [13] 尹力,魏伟,薄立明,等,基于主体功能区战略的新疆地区 "三区空间"演化解析[J].经济地理,2023,43(7):52-64. YIN L, WEI W, BO L M, et al. Evolution of "threefunction spaces" in Xinjiang based on major function-oriented zoning strategy[J]. Economic Geography,2023,43 (7):52-64.
- [14] 魏伟,夏俊楠,洪梦谣,等.1980—2018 年长江经济带主体功能空间演化研究[J].城市规划学刊,2021(3):28-35. WEI W, XIA J N, HONG M Y, et al. The evolution of "three-zone space" in the Yangtze River economic belt under major functional zoning strategy from 1980 to 2018[J].Urban Planning Forum,2021(3):28-35.
- [15] 魏伟,缪江波,夏俊楠,等.湖北省长江经济带沿岸地区 "三区空间"演化特征及机制分析(2010—2017)[J].经济 地理,2020,40(2):132-142.
 - WEI W, MIAO J B, XIA J N, et al. Spatial-temporal evolution characteristics and mechanism of "three-zone space" along the Yangtze River economic belt in Hubei Province from 2010 to 2017 [J]. Economic Geography, 2020,40(2):132-142.
- [16] 魏伟,尹力,谢波,等.国土空间规划背景下黄河流域"三区空间"演化特征及机制[J].经济地理,2022,42(3):44-55,86. WEI W, YIN L, XIE B, et al. Spatial-temporal evolution characteristics and mechanism of "three-function space" in the Yellow River Basin under the background of territorial spatial planning[J]. Economic Geography,2022,42(3):44-55,86.
- [17] 唐常春,李亚平,杜也,等.1980—2018 年粵港澳大湾区 国土空间结构演变[J].地理研究,2021,40(4):928-944. TANG C C, LI Y P, DU Y, et al. The evolution of territorial spatial structure of Guangdong-Hong Kong-

- Macao Greater Bay Area from 1980 to 2018 [J]. Geographical Research, 2021, 40(4):928-944.
- [18] 刘倩,蒋金秀,杨星,等.农户贫困脆弱性测度及其影响 因素:基于秦巴山区的实证分析[J].地理研究,2022,41 (2):307-324.
 - LIU Q, JIANG J X, YANG X, et al. Poverty vulnerability measurement and its impact factors of farmers: Based on the empirical analysis in Qinba Mountains[J]. Geographical Research, 2022, 41(2):307-324.
- [19] 殷浩然,张平平,董庆栋,等.基于海拔梯度的秦巴山地 旅游气候适宜性评价[J].山地学报,2021,39(5): 710-721.
 - YIN H R, ZHANG P P, DONG Q D, et al. Evaluation on climate comfortable degree for ecotourism along altitude gradient in Qinling-Daba Mountain areas, China [J]. Mountain Research, 2021, 39(5):710-721.
- [20] 王小红,刘宪锋,孙高鹏,等.2001—2020 年秦巴山区植被生产力对干旱的响应[J].应用生态学报,2022,33(8): 2105-2112.
 - WANG X H, LIU X F, SUN G P, et al. Response of vegetation productivity to drought in the Qinling-Daba Mountains, China from 2001 to 2020 [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2022, 33(8):2105-2112.
- [21] 张静,任志远.秦巴山区土地利用时空格局及地形梯度 效应[J].农业工程学报,2016,32(14):250-257.
 - ZHANG J, REN Z Y. Spatiotemporal pattern and terrain gradient effect of land use change in Qinling-Bashan Mountains [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(14):250-257.
- [22] 翟雅倩,张翀,周旗,等.秦巴山区植被覆盖与土壤湿度时空变化特征及其相互关系[J].地球信息科学学报,2018,20(7):967-977.
 - ZHAI Y Q, ZHANG C, ZHOU Q, et al. Spatio-temporal variation and interrelationship of vegetation cover and soil moisture in Qinling-Daba Mountains[J]. Journal of Geo-Information Science, 2018, 20(7):967-977.
- [23] 廖梓均,闵婕,翁才银.秦巴-武陵山区重庆段乡镇域多维 贫困测度及类型划分[J].农业工程学报,2022,38(7): 282-290.
 - LIAO Z J, MIN J, WENG C Y. Multidimensional poverty measurement and type classification of township areas in Chongqing Section from Qinling-Bashan to Wuling Mountain Areas[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2022, 38(7):282-290.
- [24] 敬博,李同昇,温伯清,等.基于地形因素的秦巴山区人口-经济空间格局及其影响机制研究[J].地理科学,

- 2020,40(5):793-803.
- JING B, LI T S, WEN B Q, et al. Population-economy spatial pattern and impact mechanism of the Qinba Mountain area based on topographic factors[J]. Scientia Geographica Sinica, 2020, 40(5):793-803.
- [25] 余侃华,范倩楠,李丹妮.城乡融合视阈下秦巴山区"镇级市"空间演进及振兴路径析论:以陕西省恒口镇级小城市综合改革试验区为例[J].城市发展研究,2020,27 (12);22-28.
 - YU K H, FAN Q N, LI D N. Research on the coupling mechanism of urban-rural spatial integration and institutional reforms of "Town-level city" in the context of rural revitalization: Taking Hengkou town of southern Shaanxi as an example[J]. Urban Development Studies, 2020,27(12):22-28.
- [26] 孙贵艳,王传胜.退耕还林(草)工程对农户生计的影响研究:以甘肃秦巴山区为例[J].林业经济问题,2017,37(5):54-58,106.
 - SUN G Y, WANG C S. Project of conversion of cropland to forest(grass) effect on farmers' livelihood: A case study of Qinba Mountain area in Gansu Province[J]. Issues of Forestry Economics, 2017,37(5):54-58,106.
- [27] BAI Y. Analysis of vegetation dynamics in the Qinling-Daba Mountains region from MODIS time series data [J]. Ecological Indicators, 2021, 129; e108029.
- [28] 张苗,杨国庆,王军邦,等.秦巴山区生态系统服务权衡—协同关系[J].山地学报,2022,40(1):1-13.

 ZHANG M, YANG G Q, WANG J B, et al. Trade-off synergy of ecosystem services in theqinba mountainous area of China[J].Mountain Research,2022,40(1):1-13.
- [29] 邓元杰,侯孟阳,张晓,等.基于 Logistic 回归模型的陕西秦巴山区林地变化驱动力分析[J].南京林业大学学报(自然科学版),2022,46(1):106-114.

 DENG Y J, HOU M Y, ZHANG X, et al. Drivers of forestland change in the Qinba Mountain region of Shaanxi based on the Logistic regression model [J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition),
- [30] 王静,曹卫星,刘晶晶,等.泛"胡焕庸线"过渡带的地学认 知与国土空间开发利用保护策略建构[J].经济地理, 2022,42(3):22-32.

2022,46(1):106-114.

WANG J, CAO W X, LIU J J, et al. Geographical cognition of transitional zone of pan-hu huanyong line and construction of land development, utilization and preservation strategies [J]. Economic Geography, 2022, 42 (3):22-32.