

DOI: 10.20103/j.stxb.202407071587

邱孟龙,付梦雨,李逍遥,田敏敏.基于功能偏离的脱贫山区“三生”空间冲突识别及其演变特征——以陕南秦巴山区为例.生态学报,2025,45(8):3750-3762.

Qiu M L, Fu M Y, Li X Y, Tian M M. Identifying the spatial conflict of “production-living-ecology” in out-of-poverty mountainous areas based on functional deviation and its evolutionary characteristics: a case study of Qinba Mountainous area in southern Shaanxi Province. Acta Ecologica Sinica, 2025, 45(8): 3750-3762.

# 基于功能偏离的脱贫山区“三生”空间冲突识别及其演变特征

——以陕南秦巴山区为例

邱孟龙\*, 付梦雨, 李逍遥, 田敏敏

陕西师范大学西北国土资源研究中心, 西安 710119

**摘要:**厘清山区脱贫过程中“三生”空间冲突的时空演变特征与分异规律可为空间资源优化和乡村振兴提供重要支撑。运用力学平衡模型构建基于功能偏离的“三生”空间冲突测度方法,以陕南秦巴山区为案例区,分析脱贫过程中区域空间功能偏移与“三生”空间冲突的时空演变特征,并利用冷热点分析对冲突热点区进行识别。研究表明:(1)陕南秦巴山区“三生”空间面积呈生态空间(73.6%)>生产空间(25.7%)>生活空间(0.7%);2010—2020年,生态空间明显增加,生产空间明显减少,生活空间轻微上升。(2)“三生”功能偏移总体上处于中等偏移级别;脱贫过程中,区域空间功能偏移呈增加趋势,强偏移、较强偏移和中等偏移面积占比升高的空间分别为生活空间、生产空间和生态空间。(3)“三生”空间冲突类型主要为生态-生产冲突亚类,且冲突区主要分布在生产空间,冲突热点区主要位于地势相对平坦的盆地、河谷区;脱贫过程中,“三生”空间冲突等级变化呈两极分化趋势,其中增加的无冲突区主要位于生态空间和生活空间,而增加的高等级冲突区主要位于生产空间。研究结果揭示了山区脱贫过程中“三生”空间冲突的时空分异特征,可为“三生”空间的差异化治理与均衡发展提供参考。

**关键词:**“三生”空间冲突;时空演变;力学平衡模型;功能偏移;脱贫山区

## Identifying the spatial conflict of “production-living-ecology” in out-of-poverty mountainous areas based on functional deviation and its evolutionary characteristics: a case study of Qinba Mountainous area in southern Shaanxi Province

QIU Menglong\*, FU Mengyu, LI Xiaoyao, TIAN Minmin

Northwest Land and Resource Research Center, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China

**Abstract:** The objective of this study is to investigate the spatiotemporal evolution and variation in the spatial conflicts of the “production-living-ecology” framework during the poverty alleviation process in mountainous regions, and to offer valuable insights for the enhancement of land use in rural revitalization efforts. The mechanical equilibrium model was employed to develop a method for measuring spatial conflicts, predicated on the functional deviations within the “production-living-ecology” paradigm. Taking the Qinba Mountainous area in southern Shaanxi as a case study area, we analyze the spatiotemporal evolution characteristics of regional spatial function deviation and the spatial conflict of

**基金项目:**国家自然科学基金项目(42471307);陕西省自然科学基金基础研究计划资助项目(2024JC-YBQN-0300);陕西省社科基金项目(2024R040);中央高校基本科研业务费专项资金项目(24ZYB017)

**收稿日期:**2024-07-07; **网络出版日期:**2025-01-20

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: qml7886@163.com

“production-living-ecology” in the process of out-of-poverty. Hotspot analysis identified the spatial conflict hotspots. The results show that: (1) within the “production-living-ecology” framework in the Qinba Mountain region of southern Shaanxi, the distribution is ecological space (73.6%) > production space (25.7%) > living space (0.7%); from 2010 to 2020, the ecological space exhibited a marked increase, the production space showed a significant decrease, and the living space demonstrated a modest upward trend; the results can be attributed to the implementation of the Grain for Green program and the practice of the ecological priority development concept in the process of poverty alleviation in mountainous areas; (2) the functional offsetting of the “production-living-ecology” is generally at the level of medium offsetting, and the degree of offsetting shows an increasing trend from living space to production space and ecological space; the regional spatial functional offsetting shows an increasing trend in the process of out-of-poverty, and the spaces with the largest increase in the area proportion of strongest offsetting, stronger offsetting, and medium offsetting are the living space, production space and ecological space, respectively; (3) the main types of spatial conflicts in the “production-living-ecology” are ecological-production conflicts, and the conflict hotspots are mainly located in basins and river valleys with relatively flat terrain; in the process of poverty alleviation, the level of spatial conflict in “production-living-ecology” shows a polarized trend, in which the increased conflict-free zone was mainly located in the ecological space and living space, while the increased high-level conflict zone was mainly located in the production space. Therefore, the production space, especially in basin and valley areas, is the focus of the optimization and control of the “production-living-ecology” spatial conflict in the poverty alleviation mountainous area. In conclusion, the research results reveal the spatial-temporal differentiation characteristics of the “production-living-ecological” space conflicts during the poverty eradication process in mountainous regions, offering a basis for targeted governance and equilibrium development of these spaces.

**Key Words:** spatial conflict of “production-living-ecology”; spatiotemporal change; mechanical equilibrium modelling; functional offsetting; out-of-poverty mountain area

在精准扶贫战略助推下,广大贫困山区在短时间内摆脱了绝对贫困。然而,经济社会的迅速发展给自然生态环境和人类生产生活带来了前所未有的影响和冲击,脱贫山区的生态、生产、生活空间(简称“三生”空间)发生急剧变化<sup>[1-2]</sup>。在变化过程中,“三生”空间配置方式、数量、结构等方面的不和谐与不协调衍生出一系列空间冲突问题。空间冲突加剧会引发空间功能失衡、景观稳定性减弱、空间扰动性增强、人地关系失衡等一系列负面问题<sup>[3]</sup>。因此,科学测度“三生”空间冲突水平,探究山区脱贫过程中“三生”空间冲突的时空演变特征与分异规律不仅对空间资源的优化以及人地矛盾的缓解具有重要理论意义,还对脱贫山区乡村振兴的实现具有重要的实践指导作用。

空间冲突研究主要源自土地利用冲突,是由于空间资源的稀缺性和多功能性造成的<sup>[4]</sup>。“三生”空间冲突与土地利用冲突一脉相承,均表现为空间权益的竞争与博弈,但“三生”空间冲突更好体现了空间的多功能性,研究对象更加宏观与综合<sup>[5-7]</sup>。当前,有关“三生”空间冲突的研究主要集中在“三生”空间的内涵与分类<sup>[8]</sup>、“三生”空间冲突识别与测度<sup>[9]</sup>、“三生”空间冲突演变特征<sup>[10]</sup>、“三生”空间冲突优化<sup>[11]</sup>等方面。空间结构是指不同地域之间的功能组合关系<sup>[12]</sup>,地域功能及其组合的演化与分异形成了“三生”空间。因此,基于功能视角,构建“三生”空间冲突测度与分析评价体系成为当前学术界研究的热点与趋势。目前“三生”空间冲突的识别测度方法主要包括冲突指数法和多功能叠加法两类。冲突指数法大多首先遵循主导功能原则对区域“三生”空间进行划分,然后通过景观斑块特征参数法构建指数,对冲突水平进行测定<sup>[13-14]</sup>。虽然单一的主导功能能够很好的体现优势功能对空间关系的影响,但空间具有多功能性,仅以主导功能进行“三生”空间划分并测度空间冲突忽视了其他功能对冲突的影响。多功能叠加法是指通过对地域多功能进行叠加处理测度不同区域“三生”空间冲突水平,该方法由于其准确定位空间冲突的能力而被广泛使用<sup>[15-16]</sup>。然而,多功能叠加法主要考虑了空间各种功能的强度,忽略了各种功能之间复杂的相互作用关系。因此,亟需构建

一个更加科学准确的“三生”空间冲突测度方法体系。力学平衡模型源于1994年提出的三重底线理论,以笛卡尔坐标系中不同方向的矢量力来代表内部子系统。该方法不仅能够通过测度矢量力的合力来表征子系统之间复杂的相互作用关系,还能通过合力偏移方向来判断系统的优劣势<sup>[17-18]</sup>。当前,已经广泛应用于土地功能的协调分析<sup>[19]</sup>、优劣项分析<sup>[17]</sup>等方面。鉴于此,本文引入力学平衡模型,基于对“三生”功能之间相互作用关系的分析,识别空间强势功能,并结合空间类型对“三生”空间冲突进行测度。此外,现有研究主要集中在城镇化核心区及各类生态环境脆弱区,如大都市中心区<sup>[20]</sup>、迅速城市化区<sup>[21]</sup>、农牧交错区<sup>[22]</sup>、海岸带<sup>[23]</sup>、干旱区<sup>[24]</sup>、黄河流域<sup>[25]</sup>等,对广大脱贫山区的研究相对不足,鲜有关于山区脱贫过程中“三生”空间冲突演变规律的探究。

陕南秦巴脱贫山区是中国脱贫攻坚的典型区域之一,也是中国重要的生态功能区<sup>[26-27]</sup>。自2012年党的十八大全面打响脱贫攻坚战,到2020年陕南秦巴山区实现全面脱贫。在精准扶贫战略助推下,该区在短时间内摆脱了绝对贫困,同时区域自然生态环境和人类生产生活也发生了极大改变,“三生”空间变化剧烈<sup>[28]</sup>。因此,本文以陕南秦巴山区为案例区,以涵盖脱贫前后的2010—2020年为研究时段,在综合考虑空间各种功能相互作用关系的基础上,构建基于功能偏离的“三生”空间冲突测度方法体系,对区域“三生”空间冲突进行定量识别与测度,分析“三生”空间冲突的时空演变特征与分异规律,为脱贫山区“三生”空间冲突的管理和优化调控提供科学依据和决策支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

陕南秦巴山区位于陕西省南部(105°30'30"—111°1'25"E, 31°42'00"—34°25'40"N),包括汉中市、安康市和商洛市3个地级市,总面积约 $7.02 \times 10^4 \text{ km}^2$ (图1)。陕南秦巴山区属于北亚热带气候,年均降水量为600—1000 mm,年均气温14—15℃,是中国重要的生态屏障和南北生态分界的脆弱地带,域内包含多处禁止开发和限制开发的重点生态功能区。同时,作为《中国农村扶贫开发纲要(2011—2020)》中划定的集中连片特困区,陕西省56个贫困县中有29个位于该区域,占陕西省贫困县总数的51.8%,是陕西省贫困人口最集中、贫困程度最深的地区,其中贫困人口达302.5万,贫困发生率37.5%<sup>[29]</sup>。脱贫过程中,社会经济的迅速发展导致区域生态环境压力逐步增大,人口与资源矛盾日益突出<sup>[30]</sup>。

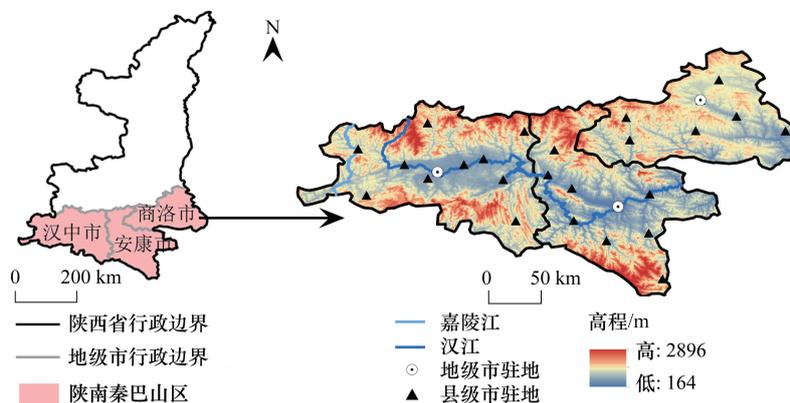


图1 研究区位置示意图

Fig.1 Schematic of the location of the study area

### 1.2 数据来源与处理

综合考虑研究区“三生”空间冲突在时间尺度上的异质性、数据的可得性以及数据处理的时间和人力物力成本<sup>[31]</sup>,本研究以5年为时间间隔,即选取2010、2015、2020年作为时间截点进行分析。各年份相关数据

来源如下:土地利用数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn/>);GDP 数据来源于《陕西统计年鉴》和 Scientific Data (<https://doi.org/10.6084/m9.figshare.17004523.v1>);NPP 数据来源于美国 NASA 的 MOD17A3 数据集(<http://reverb.echo.nasa.gov>);NDVI 数据来源于国家生态科学数据中心<sup>[32]</sup>;夜间灯光数据来自于哈佛大学数据库的全球 500m 分辨率的 NPPVIIRS 夜间灯光数据<sup>[33]</sup>;粮食产量数据来源于《陕西统计年鉴》,数据空间化方法参考 Peng 等<sup>[34]</sup>的研究。

### 1.3 “三生”空间分类

根据研究区实际情况和已有研究成果,建立基于土地利用类型的“三生”空间分类体系。其中,生态空间主要包括林地、草地、水域和未利用地<sup>[35-37]</sup>,生产空间主要包括耕地和工矿生产用地<sup>[8,34]</sup>,生活空间主要包括城镇用地和农村居民点<sup>[38-39]</sup>。

### 1.4 基于功能偏离的“三生”空间冲突表征

#### 1.4.1 空间“三生”功能偏移

人类需求的多样性导致了空间功能的多宜性,而空间功能的多宜性是空间冲突产生的重要基础<sup>[40]</sup>。与“三生”空间相对应,空间功能包括生态、生产和生活三种功能类型(“三生”功能)<sup>[41]</sup>。然而,空间“三生”功能并不总是均衡发展的,而是随着人类需求的变化而改变<sup>[42]</sup>。当“三生”功能失去均衡发展状态时,就发生了功能偏移。若功能偏移方向与“三生”空间类型不一致,即二者之间存在功能偏离,则说明人类需求与空间资源提供各种产品和服务能力之间存在矛盾,从而引发空间冲突。因此,准确测度空间功能偏移方向与强度成为“三生”空间冲突表征的关键。基于此,本文引入力学平衡概念模型(图 2)分析“三生”功能之间的相互作用关系,评价空间“三生”功能的偏移状态。该方法利用力的矢量特性,在“三生”空间冲突测度过程中不仅考虑了功能的强度,同时也考虑功能的作用方向,能够更加科学准确的反映不同空间功能之间的复杂关系,从而提高“三生”空间冲突识别与测度的准确性。

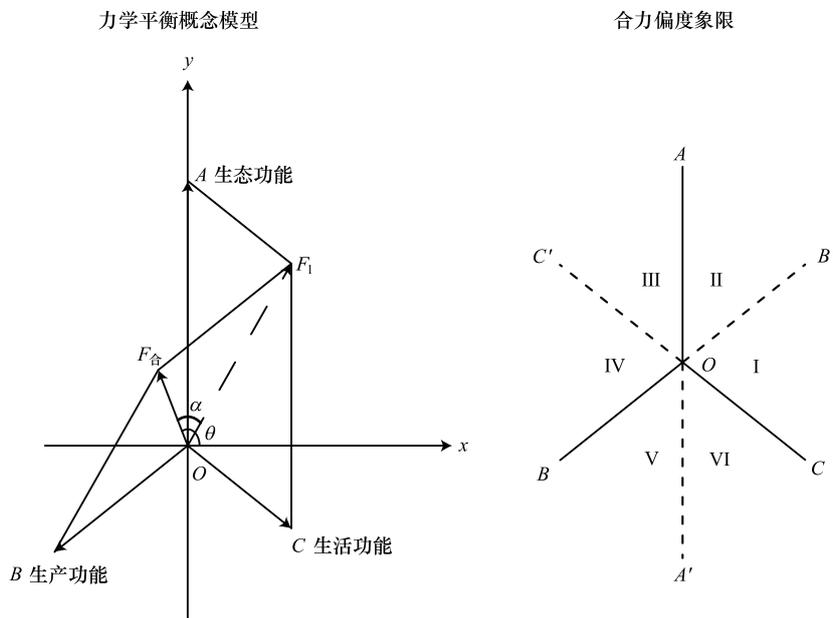


图 2 力学平衡概念模型和合力偏度象限示意图

Fig.2 Schematic representation of conceptual model of mechanical equilibrium and combined force deflection quadrant

$F_1$ :  $\vec{OA}$ 和 $\vec{OC}$ 的合力;  $F_{合}$ :  $\vec{OB}$ 和 $\vec{OC}$ 的合力; I、II、III、IV、V、VI: 坐标系中的 6 个象限;  $OA'$ :  $OA$  的反向延长线;  $OB'$ :  $OB$  的反向延长线;  $OC'$ :  $OC$  的反向延长线

将空间的生态、生产、生活功能抽象为笛卡尔坐标系中 3 个不同方向的作用力  $\vec{OA}$ 、 $\vec{OB}$ 、 $\vec{OC}$ , 将  $\vec{OA}$ 、 $\vec{OB}$ 、 $\vec{OC}$

的方向角分别定义为  $\pi/2, 7\pi/6, 11\pi/6$ <sup>[37]</sup>, 反向延长  $\vec{OA}, \vec{OB}, \vec{OC}$  将合力空间划分为 6 个象限(图 2)。

根据三者作用合力  $F_{\text{合}}$  的大小和偏移角度  $\theta$ , 分别确定“三生”功能偏移程度与方向, 极坐标  $(F_{\text{合}}, \theta)$  的计算公式如下:

$$F_{\text{合}} = \sqrt{x_{\text{合}}^2 + y_{\text{合}}^2} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \theta = \arctan\left(\frac{y_{\text{合}}}{x_{\text{合}}}\right), & x_{\text{合}} \geq 0 \\ \theta = \arctan\left(\frac{y_{\text{合}}}{x_{\text{合}}}\right) + \pi, & x_{\text{合}} < 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$(x_{\text{合}}, y_{\text{合}}) = \vec{F}_{\text{合}} = \vec{OA} + \vec{OB} + \vec{OC} = (x_A + x_B + x_C, y_A + y_B + y_C) \quad (3)$$

$$\vec{OA} = (x_A, y_A) = (0, OA) \quad (4)$$

$$\vec{OB} = (x_B, y_B) = \left( \cos\left(\frac{1 - \frac{|OB|}{OB}}{2} \pi - \frac{5\pi}{6}\right) |OB|, \sin\left(\frac{1 - \frac{|OB|}{OB}}{2} \pi - \frac{5\pi}{6}\right) |OB| \right) \quad (5)$$

$$\vec{OC} = (x_C, y_C) = \left( \cos\left(\frac{1 - \frac{|OC|}{OC}}{2} \pi - \frac{\pi}{6}\right) |OC|, \sin\left(\frac{1 - \frac{|OC|}{OC}}{2} \pi - \frac{\pi}{6}\right) |OC| \right) \quad (6)$$

式中,  $OA, OB, OC$  分别为空间的生态、生产和生活功能指数, 其计算公式如下:

$$OA = \alpha HQ + \beta NPP \quad (7)$$

式中, 生态功能指数  $OA$  用于衡量空间的生态功能, 即生态系统为人类生存提供的各种自然条件及其效应<sup>[43]</sup>;  $HQ$  为生境质量, 反映了空间为有机体提供各类自然资源和条件的能力<sup>[44]</sup>;  $NPP$  为地表植被净初级生产力, 可反映生态系统中植被的生产能力<sup>[45]</sup>;  $\alpha$  和  $\beta$  为权重系数, 根据前人研究<sup>[46-48]</sup>, 均赋值为 0.5;  $HQ$  在 InVEST 模型中基于土地利用数据计算获得, 其计算公式与原理见徐建英等的研究<sup>[46]</sup>。

$$OB = \sigma GY + \tau GDP \quad (8)$$

式中, 生产功能指数  $OB$  用于衡量空间的生产功能, 即土地作为生产要素或载体进行社会生产, 产生各种产品和服务的能力<sup>[43]</sup>, 主要包括农业生产和工业生产两大类;  $GY$  为粮食产量, 反映了土地的农业生产能力;  $GDP$  为单位面积国内生产总值, 与土地的工业生产能力密切相关<sup>[36]</sup>;  $\sigma$  和  $\tau$  为权重系数, 参考前人研究<sup>[47-48]</sup>, 其取值均为 0.5。

$$OC = NL \quad (9)$$

式中, 生活功能指数  $OC$  用于衡量空间的生活功能, 即土地为人类休憩、消费、娱乐休闲等提供的各种空间承载功能, 如居住承载、交通承载、公共服务承载等<sup>[8, 43]</sup>;  $NL$  为夜间灯光指数, 通过对人类夜间活动的监测, 可以提供居民地、交通道路等方面的准确信息<sup>[49]</sup>, 因此用于反映区域空间的生活功能。

#### 1.4.2 “三生”空间冲突类型划分与强度表征

根据“三生”空间类型与空间“三生”功能偏移之间是否存在偏离, 识别“三生”空间冲突类型。若某一空间“三生”功能的合力为 0 或“三生”功能偏移方向与其空间类型一致, 即空间功能无偏移或偏移方向与空间类型无偏离, 说明该区域无空间冲突, 即空间冲突指数 ( $SC$ ) 为 0; 若某空间“三生”功能偏移方向与其“三生”空间类型存在偏离, 说明该区域存在空间冲突,  $F_{\text{合}}$  用于衡量三生空间冲突强度 (即  $SC = F_{\text{合}}$ ),  $F_{\text{合}}$  越大说明空间冲突程度越高, 同时根据  $\theta$  取值将“三生”空间冲突划分为不同类型(表 1)。

#### 1.5 冷热点分析

冷热点分析是一种局部空间自相关分析方法, 可用于识别“三生”空间冲突的热点区域和冷点区域。通常采用  $G_i^*$  统计指数 (Getis-Ord  $G_i^*$  statistics) 对区域冷热点进行定量分析, 并利用  $G_i^*$  的标准化值  $Z$  对冷热点区域的统计显著性进行检验<sup>[50]</sup>, 相关计算公式如下:

$$G_i^* = \frac{\sum_j^n w_{ij}x_j}{\sum_j^n x_j} \quad (10)$$

$$Z = \frac{G_i^* - E(G_i^*)}{\sqrt{\text{Var}(G_i^*)}} \quad (11)$$

式中,  $G_i^*$  为空间单元  $i$  的集聚指数;  $Z$  为  $G_i^*$  的标准化值;  $w_{ij}$  是单元  $i$   $j$  之间的空间权重矩阵;  $x_j$  为单元  $j$  的属性值;  $E(G_i^*)$  和  $\text{Var}(G_i^*)$  分别是  $G_i^*$  的数学期望和方差。当  $G_i^* > 1.65$  时, 表明空间单元  $i$  周围的空间冲突指数较高, 属于热点区(高值集聚区), 且在  $P=0.1$  水平上显著; 当  $G_i^* < -1.65$  时, 表明空间单元  $i$  周围的空间冲突指数较低, 属于冷点区(低值集聚区), 且在  $P=0.1$  水平上显著; 当  $1.65 > G_i^* > -1.65$  时, 说明空间单元  $i$  周围的空间冲突指数无显著高值或低值集聚, 即不属于冷热点区。

表 1 “三生”空间冲突类型划分表

Table 1 Classification of “production-living-ecology” spatial conflict types

“三生”空间冲突 “Production-living-ecology” spatial conflict		强势功能 Powerful features	“三生”空间类型 Types of production-living-ecology spaces	极角 $\theta$ Polar angle $\theta$	象限 Quadrants
类型 Types	亚类 Subtypes				
生态-生产冲突 Ecological-production conflict	生产-生态冲突亚类	生产	生态空间	$[5\pi/6, 3\pi/2)$	IV 或 V
生态-生活冲突 Ecological-living conflict	生态-生产冲突亚类	生态	生产空间	$[\pi/6, 5\pi/6)$	II 或 III
生产-生活冲突 Production-living conflict	生态-生活冲突亚类	生态	生活空间	$[\pi/6, 5\pi/6)$	II 或 III
	生活-生态冲突亚类	生活	生态空间	$[3\pi/2, 2\pi] \cup [0, \pi/6)$	I 或 VI
	生产-生活冲突亚类	生产	生活空间	$[5\pi/6, 3\pi/2)$	IV 或 V
	生活-生产冲突亚类	生活	生产空间	$[3\pi/2, 2\pi] \cup [0, \pi/6)$	I 或 VI

## 2 结果与分析

### 2.1 “三生”空间时空演变特征

陕南秦巴山区“三生”空间面积呈现生态空间>生产空间>生活空间(表 2), 三者占区域总面积的比例在 2010、2015、2020 年三年平均分别为 73.6%、25.7%和 0.7%。从时间尺度来看, 2010—2020 年陕南秦巴山区生态空间呈明显增加趋势, 增加了 386.6 km<sup>2</sup>; 生产空间呈明显减少趋势, 减少了 391.9 km<sup>2</sup>; 生活空间呈轻微上升趋势, 增加了 5.3 km<sup>2</sup>。

表 2 2010、2015、2020 年陕南秦巴山区“三生”空间面积

Table 2 Area of “production-living-ecology” in the Qinba Mountains of southern Shaanxi in 2010, 2015 and 2020

空间类型 Type of space	2010 年	2015 年	2020 年	2010—2020 年面积变化 Area change from 2010 to 2020
生态空间 Ecological space/km <sup>2</sup>	50978.4	50975.1	51365.0	386.6
生产空间 Production space/km <sup>2</sup>	17952.4	17935.4	17560.5	-391.9
生活空间 Living space/km <sup>2</sup>	456.8	477.1	462.2	5.3

从空间尺度来看(图 3), 生态空间是分布最为广泛的空间类型, 主要位于研究区的广大山区地带; 生产空间则相对集中分布在陕南秦巴山区中部的汉中盆地和安康盆地, 在广大山区仅有零星分布; 生活空间的面积最小, 主要沿河谷地带呈零星分布。

### 2.2 空间“三生”功能偏移时空演变特征

利用自然断点法将空间“三生”功能偏移程度分为 5 级: 弱偏移 ( $F_{\text{合}} \leq 0.2$ )、较弱偏移 ( $0.2 < F_{\text{合}} \leq 0.3$ )、中

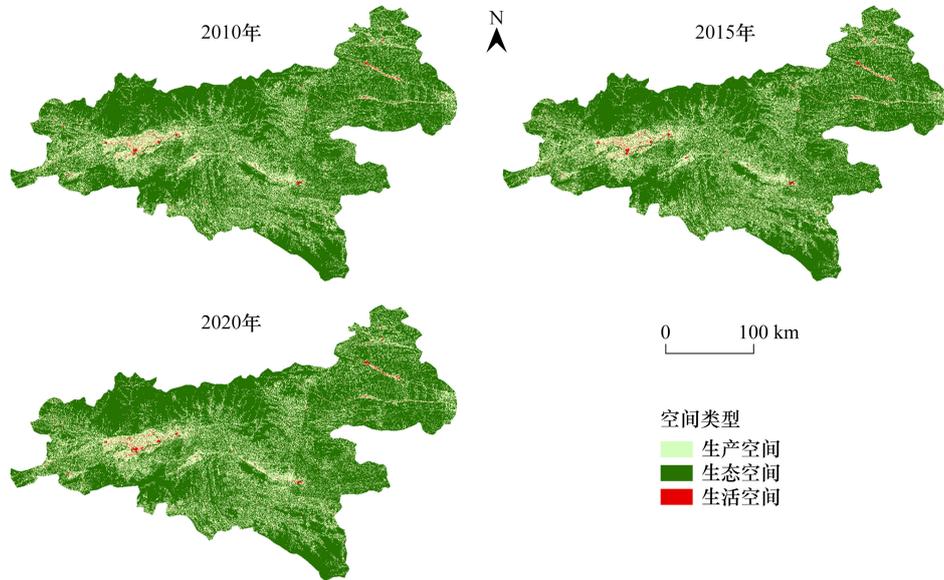


图3 2010、2015、2020年陕南秦巴山区“三生”空间分布

Fig.3 Spatial distribution of “production-living-ecology” in the Qinba Mountains of southern Shaanxi in 2010, 2015 and 2020

等偏移( $0.3 < F_{\text{合}} \leq 0.4$ )、较强偏移( $0.4 < F_{\text{合}} \leq 0.5$ )和强偏移( $F_{\text{合}} > 0.5$ )。总体来看,2010、2015、2020年陕南秦巴山区“三生”功能均处于中等偏移等级,其平均合力值分别为0.33、0.36和0.35,呈先升高后下降的轻微波动趋势。从不同偏移等级来看(表3),陕南秦巴山区主要处于“三生”功能较弱偏移和中等偏移两个级别,二者占研究区面积比例在2010、2015、2020年的平均值分别为30.0%和47.8%。从各偏移等级的分布来看(表3),除弱偏移等级主要分布在生产空间(60.1%)外,其余偏移等级均主要位于生态空间( $\geq 63.4\%$ )。随着偏移程度的增加,各偏移等级在生态空间的分布比例呈增加趋势,而在生产空间和生活空间均呈下降趋势。其中,96.2%的强偏移区分布在生态空间,而70.4%的弱偏移区分布在生产空间和生活空间。

表3 不同偏移等级在陕南秦巴山区面积占比及其在不同空间分布比例的三年均值(2010、2015、2020年)

Table 3 Three-year averages (2010, 2015 and 2020) of the proportion of area occupied by different offset classes and their proportions in different spatial distributions in the Qinba mountainous region of southern Shaanxi Province

偏移等级 Offset classes	面积占比/% Proportion of area occupied	分布比例 Proportion of distribution/%		
		生态空间 Ecological space	生产空间 Production space	生活空间 Living space
弱偏移 Weakest offsetting	1.9	29.7	60.1	10.3
较弱偏移 Weaker offsetting	30.0	63.4	35.3	1.3
中等偏移 Medium offsetting	47.8	76.2	23.7	0.1
较强偏移 Stronger offsetting	13.9	82.7	17.2	0.1
强偏移 Strongest offsetting	6.4	96.2	3.7	0.2

从时空演变角度来看(图4),2010、2015、2020年“三生”功能偏移等级的空间分布格局基本一致,即均以零星分布的生活空间为中心向外围的生产空间、生态空间呈递增趋势。2010—2020年,“三生”功能偏移呈现低等级区面积占比下降,高等级区面积占比升高的趋势。其中,下降区域以较弱偏移区为主,下降了9.2%,主要分布在生态空间(76.3%);升高区域以中等偏移和较强偏移为主,分别升高6.7%和2.3%,分别主要分布在生态空间(88.4%)和生态空间(56.5%)、生产空间(43.0%)。

### 2.3 “三生”空间冲突及其时空演变特征

2010、2015、2020年陕南秦巴山区“三生”空间冲突指数分别为0.076、0.081和0.078,呈先升高后下降趋

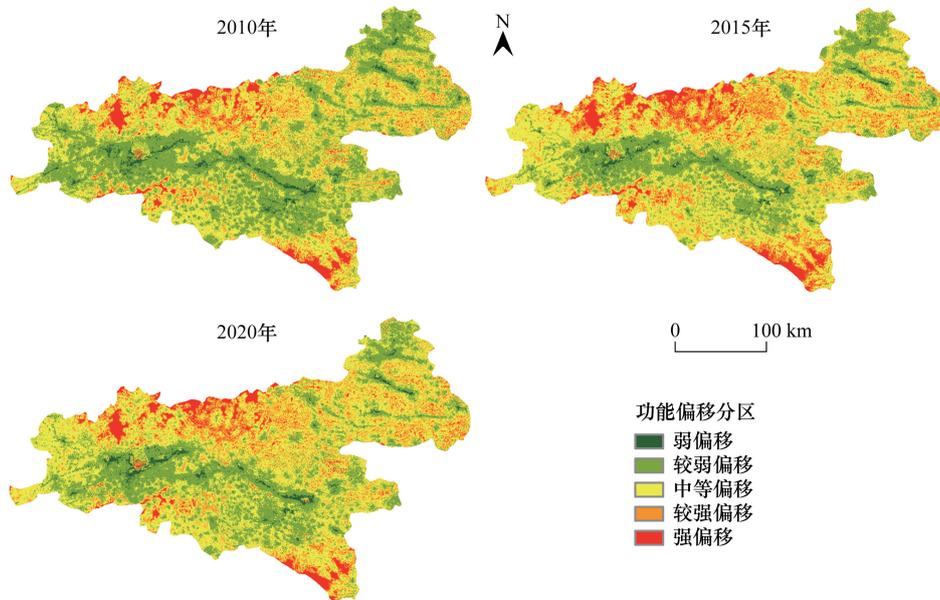


图 4 2010、2015、2020 年陕南秦巴山区“三生”功能偏移等级空间分布图

Fig.4 Spatial distribution of “production-living-ecology” function offset levels in the Qinba Mountains of southern Shaanxi in 2010, 2015 and 2020

势。从不同冲突类型来看(表 4),研究区“三生”空间冲突以分布于生产空间的生态-生产亚类为主,三年平均占冲突区域总面积的 98.4%,说明研究区的生产空间在发挥生产功能的同时也承担了一定的生态功能。其余亚类占冲突区域总面积的比例均较低。2010—2020 年,位于生活空间的生态-生活冲突亚类面积占比呈明显下降趋势,由 2.0%下降到 0.0%,说明贫困山区脱贫过程中生活空间发挥的生态功能逐渐降低;生态-生产冲突亚类面积占比增加了 1.6%,说明脱贫过程中以生态功能为主导的生产空间面积增加;生活-生态冲突亚类和生活-生产冲突亚类面积占比均增加了 0.2%,说明脱贫过程中以生活功能为主导的生态空间和生产空间面积均呈轻微增加趋势;而生产-生态冲突亚类和生产-生活冲突亚类面积占比均保持稳定。

表 4 2010、2015、2020 年不同冲突类型占冲突区域总面积的比例及其变化

Table 4 Proportion of different conflict types to the total area of the conflict zone and their changes in 2010, 2015 and 2020

“三生”空间冲突 “Production-living-ecology” spatial conflict		面积占比/% Proportion of area occupied				2010—2020 年占比变化/% 2010—2020 Change in share
类型 Types	亚类 Subtypes	2010 年	2015 年	2020 年	平均值 Average value	
生态-生产冲突 Ecological-production conflict	生产-生态冲突亚类 生态-生产冲突亚类	0.3 97.3	0.4 99.0	0.3 98.9	0.3 98.4	0.0 1.6
生态-生活冲突 Ecological-living conflict	生态-生活冲突亚类 生活-生态冲突亚类	2.0 0.0	0.1 0.1	0.0 0.2	0.7 0.1	-2.0 0.2
生产-生活冲突 Production-living conflict	生产-生活冲突亚类 生活-生产冲突亚类	0.3 0.1	0.3 0.1	0.3 0.3	0.3 0.2	0.0 0.2

基于自然断点法将“三生”空间冲突分为 5 级:无冲突( $SC=0$ )、低冲突( $0 < SC \leq 0.2$ )、中冲突( $0.2 < SC \leq 0.3$ )、中高冲突( $0.3 < SC \leq 0.4$ )、高冲突( $SC > 0.4$ )。从不同冲突等级面积分布比例来看(表 5),无冲突是研究区的主要冲突等级,2010、2015、2020 年三年平均占研究区总面积的 74.8%;而冲突区域的主要冲突等级为中冲突和中高冲突,二者三年平均面积占比分别为 10.4%和 11.2%。2010—2020 年,陕南秦巴山区无冲突和高等级冲突的面积占比均呈增加趋势,而低等级冲突的面积占比呈减少趋势。从不同空间来看,三年平均

97.3%的无冲突等级分布在生态空间,而冲突区域则主要分布在生产空间,且总体上随冲突等级的升高在生产空间的分布比例升高。2010—2020年,生态空间和生活空间均呈无冲突等级面积占比增加的特点,而生产空间则呈低等级冲突面积占比减少和高等级冲突面积占比增加的趋势。

表5 不同冲突等级在“三生”空间和陕南秦巴山区分布面积比例/%

Table 5 Proportion of area distributed by different conflict levels in the “production-living-ecology” space and the Qinba mountainous area of southern Shaanxi

冲突等级 Conflict level	生态空间 Ecological space			生产空间 Production space			生活空间 Living space			陕南秦巴山区 Qinba mountainous area of southern Shaanxi		
	2010年	2015年	2020年	2010年	2015年	2020年	2010年	2015年	2020年	2010年	2015年	2020年
无冲突 No conflict	72.5	72.4	73.3	1.7	1.8	1.4	0	0.6	0.6	74.3	74.7	75.3
低冲突 Low conflict	0.1	0.1	0.1	1.1	0.7	0.9	0.2	0.1	0	1.4	0.8	1.0
中冲突 Medium conflict	0.4	0.3	0.2	11.3	9	9.4	0.4	0	0	12.1	9.3	9.6
中高冲突 Medium to high conflict	0.4	0.5	0.3	10.2	11	11	0	0	0	10.6	11.5	11.3
高冲突 High conflict	0.1	0.2	0.1	1.5	3.4	2.6	0	0	0	1.5	3.6	2.7

从空间分布来看(图5),2010、2015、2020年陕南秦巴山区“三生”空间冲突的总体分布格局差异不大。其中,热点区、冷点区和不显著区的三年平均面积占比分别为16.8%、15.9%和67.2%。热点区主要分布在地势相对较低的中南部盆地、河谷区,而冷点区主要分布在北部山区。从不同空间来看,49.6%和49.4%的热点区分别位于生态空间和生产空间,而95.8%的冷点区分布在生态空间。2010—2020年,研究区冷热点区面积占比变化不大,其中冷点区面积占比增加0.2%,而热点区面积占比减少0.1%。然而,不同空间冷热点区面积占比在2010—2020年的变化存在一定差异,其中生态空间的热点区面积占比增加最大,增加了0.3%;而生活空间的热点区面积占比下降最明显,降低了6.5%。

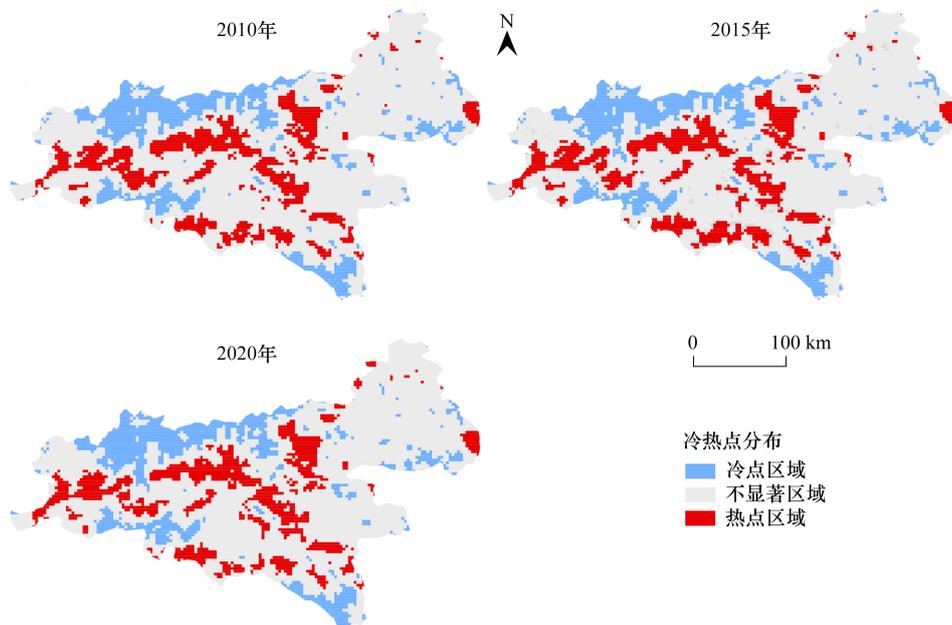


图5 2010、2015、2020年陕南秦巴山区“三生”空间冲突冷热点空间分布

Fig.5 Spatial distribution of cold hotspots of “production-living-ecology” spatial conflicts in the Qinba Mountains of southern Shaanxi in 2010, 2015 and 2020

### 3 讨论

#### 3.1 “三生”空间及其功能偏移演变分析

陕南秦巴山区以生态空间为主体,这主要是由于脱贫山区大多地形复杂、自然本底环境较差导致其作为生产、生活空间进行利用的难度较大。脱贫过程中,区域生态空间呈明显增加趋势,生产空间呈明显减少趋势,而生活空间呈轻微上升趋势。其中,脱贫过程中新一轮退耕还林工程的大规模实施是造成区域生态空间显著增加和生产空间明显减少的重要原因<sup>[51-52]</sup>,而社会经济的迅速发展导致的城镇扩张是生活空间增加的主导因素<sup>[53]</sup>。这与大部分地区社会经济迅速发展过程中呈现生产空间迅速减少而生活空间明显增加的趋势不同<sup>[6,54]</sup>。陕南秦巴山区“三生”空间演变趋势也反映了生态环境脆弱的山区在脱贫过程中生态优先的发展理念。

“三生”功能偏移主要处于较弱偏移和中等偏移两个等级,且偏移程度从生活空间向生产空间、生态空间呈递增趋势。2010—2020年,“三生”空间均呈现低功能偏移等级面积占比下降和高功能偏移等级面积占比上升的趋势。以上结果表明,脱贫过程中陕南秦巴山区空间多功能发展均衡性降低,功能偏向性增强。这主要是由于区域国土空间系统与社会经济系统中各要素处于无序状态,二者交互作用形成相互制约的关系,导致山区脱贫过程中社会经济的发展抑制了空间的多功能性<sup>[55]</sup>。任君等<sup>[56]</sup>的研究也表明,国家“精准扶贫”战略的实施对贫困山区空间多功能性具有重要影响。此外,高程、坡度、城镇化水平、人口密度等自然社会经济因素<sup>[56-57]</sup>,以及投资政策、产业政策、人口政策、土地政策等各类区域政策因素<sup>[58]</sup>均对空间多功能性具有重要影响。因此,脱贫山区在基于区域自然社会经济条件制定各类政策过程中还需充分考虑“三生”功能偏移状况,以促进空间功能的均衡发展,在实现乡村振兴的同时促进空间多功能优化。

#### 3.2 “三生”空间冲突及其时空演变

陕南秦巴山区“三生”空间冲突类型以生态-生产冲突亚类为主,该类型分布于生产空间,但其强势功能为生态功能。该结果产生的原因有两个,一是作为生产空间主体的耕地除通过粮食生产为人类生存提供基础的生产功能外,还具有重要的生态功能<sup>[8,59-60]</sup>;二是受贫困山区特殊的自然资源条件(气候、地形、水文等)限制,区域耕地资源的生产功能相对较弱<sup>[61]</sup>。因此,在空间优化过程中,要通过高标准农田建设和土地整治等工程大力加强脱贫山区耕地质量建设,提升区域生产空间的生产功能;同时,对于资源禀赋较差,不适合作为生产空间的区域,要及时通过退耕还林还草等将其转换为生态空间。

陕南秦巴山区“三生”空间冲突区约占区域总面积的 25.2%,以中冲突和中高冲突为主。虽然研究区强偏移等级主要分布在生态空间,但其冲突区域主要分布在生产空间。该结果表明,生态空间的功能偏移方向大多与其空间类型不存在功能偏离,这是由于受脱贫山区资源禀赋限制,区域生态空间发挥的生产功能和生活功能相对较弱;此外,研究区生产空间的功能偏移方向大多与其空间类型存在偏离,结合上文区域主要冲突类型为生态-生产冲突亚类,说明该区生产空间功能偏离方向主要为生态功能。2010—2020年,生态空间和生活空间均呈无冲突区面积占比升高趋势,而生产空间则呈高冲突区面积占比升高的特点。其中,生态空间无冲突区面积占比升高和生产空间高冲突区面积占比升高主要是由于在生态优先策略下,山区脱贫过程中生态环境质量明显改善<sup>[62]</sup>,区域空间生态功能增强造成的,而生活空间无冲突区面积占比升高则主要是由于脱贫期间大规模的异地扶贫搬迁<sup>[63]</sup>导致边际生活空间大面积减少造成的。冲突热点区域主要位于地势相对平坦的盆地、河谷区,这可能主要是由于盆地、河谷区的资源禀赋条件相对较好,使区域空间能够满足人类多种需求,空间功能更加多样,空间冲突严重<sup>[64]</sup>。

#### 3.3 不足与展望

当前对于空间“三生”功能评价并无统一公认的方法体系。为了科学、准确反映空间“三生”功能,本研究在对大量前人研究文献综述的基础上,结合区域实际情况,选取 NPP、生境质量、粮食产量、单位面积 GDP、夜间灯光指数等自然社会经济指标对空间“三生”功能进行定量表征。虽然在指标选取过程中尽可能保持全

面、客观、科学,但不可避免的掺杂了一定的主观性。尽管由于评价结果在同一研究中具有相对可比性,并不影响对研究区“三生”空间冲突时空演变特征的分析,但这降低了研究结果与其他研究的可比性。因此,如何更加客观的评价空间“三生”功能,优化“三生”功能定量评价方法是未来研究的一个重点。此外,本研究重点探究了脱贫山区“三生”空间冲突的时空演变特征与分异规律,但并未对空间冲突时空分异影响因素进行定量分析,未来应进一步加强这方面的研究以便提出更具针对性的“三生”空间冲突优化策略与政策建议。

#### 4 结论

(1) 陕南秦巴山区“三生”空间以生态空间为主,呈生态空间>生产空间>生活空间,这主要是由于区域自然本底环境较差导致其作为生产、生活空间利用难度较大。2010—2020年脱贫过程中,退耕还林工程的大规模实施以及社会经济的迅速发展使陕南秦巴山区的生态空间明显增加,生产空间明显减少,生活空间轻微上升。

(2) 陕南秦巴山区空间“三生”功能偏移整体处于中等偏移级别,且偏移程度从生活空间向生产空间、生态空间呈递增趋势。功能偏移等级较高的区域主要分布在生态空间,且随偏移等级的升高在生态空间的分布比例增大。脱贫过程中,陕南秦巴山区空间“三生”功能发展的均衡性降低,功能偏移程度增加。

(3) 陕南秦巴山区在脱贫过程中受到社会经济发展和生态保护的双重压力,导致其面临突出的“三生”空间冲突问题,冲突区占区域总面积的25.2%,且以中冲突和中高冲突为主。受空间多功能性以及山区自然环境限制,脱贫山区存在大量强势功能为生态功能的生产空间,亟需通过土地整治、高标准农田建设等工程提升其生产功能或通过退耕还林还草等将其转换为生态空间,以缓解冲突。脱贫过程中,研究区“三生”空间冲突呈现两极分化趋势,其中,无冲突区面积占比增加的为生态空间和生活空间,高等级冲突面积增加的区域则主要集中于生产空间。冲突热点区主要位于地势相对平坦的盆地、河谷区,冷点区主要位于北部山区。因此,生产空间,尤其是盆地河谷区的生产空间是脱贫山区“三生”空间冲突优化管控的重点。

#### 参考文献(References):

- [1] 贾磊,姚顺波,邓元杰,侯孟阳,丁振民,李园园,龚直文,刘广全. 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. *长江流域资源与环境*, 2022, 31(2): 398-413.
- [2] 王洪,刘学敏,孙凡雅. 中国脱贫县“三生空间”时空格局变化分析. *干旱区资源与环境*, 2023, 37(9): 17-25.
- [3] 陈竹安,冯祥瑞,洪志强,马彬彬,李亦佳. 南昌市土地利用的空间冲突风险评估及分区优化研究——基于“三生空间”视角. *世界地理研究*, 2021, 30(3): 533-45.
- [4] 周德,徐建春,王莉. 环杭州湾城市群土地利用的空间冲突与复杂性. *地理研究*, 2015, 34(9): 1630-1642.
- [5] 潘方杰,万庆,曾菊新,王宏志,黄琦. 城镇化进程中湖北省“生产-生活-生态”空间冲突演化及其影响因素. *经济地理*, 2023, 43(2): 80-92.
- [6] 黄安,许月卿,卢龙辉,刘超,张益宾,郝晋珉,王惠. “生产-生活-生态”空间识别与优化研究进展. *地理科学进展*, 2020, 39(3): 503-518.
- [7] 于伯华,吕昌河. 土地利用冲突分析:概念与方法. *地理科学进展*, 2006, 25(3): 106-115.
- [8] 刘继来,刘彦随,李裕瑞. 中国“三生空间”分类评价与时空格局分析. *地理学报*, 2017, 72(7): 1290-304.
- [9] Chen Y, Su X Y, Wang X K. Spatial transformation characteristics and conflict measurement of production-living-ecology: evidence from urban agglomeration of China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, 19(3): 1458.
- [10] 宋复蓉,曾向阳,陈勇. 矿粮复合区“三生”空间冲突诊断及演化特征分析——以大冶市陈贵镇为例. *水土保持研究*, 2024, 31(2): 401-412.
- [11] Xiao P N, Xu J, Zhao C. Conflict identification and zoning optimization of “production-living-ecological” space. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, 19(13): 7990.
- [12] 樊杰. “人地关系地域系统”是综合研究地理格局形成与演变规律的理论基石. *地理学报*, 2018, 73(4): 597-607.
- [13] 罗鸿,杨存建,廖雨. 西南低山丘陵区三生用地空间冲突对生态服务价值的影响研究. *生态科学*, 2024, 43(1): 146-153.
- [14] Lin G, Jiang D, Fu J Y, Cao C L, Zhang D W. Spatial conflict of production-living-ecological space and sustainable-development scenario simulation in Yangtze River Delta agglomerations. *Sustainability*, 2020, 12(6): 2175.

- [15] Zou L L, Liu Y S, Wang J Y, Yang Y Y. An analysis of land use conflict potentials based on ecological-production-living function in the southeast coastal area of China. *Ecological Indicators*, 2021, 122: 107297.
- [16] Yu Z X, Xu E Q, Zhang H Q, Shang E P. Spatio-temporal coordination and conflict of production-living-ecology land functions in the Beijing-Tianjin-Hebei region, China. *Land*, 2020, 9(5): 170.
- [17] 刘超, 张祚, 纪旭, 汤妮文, 郝美晶. 基于土地功能强弱对比的三生空间识别与优化——以襄阳市为例. *资源科学*, 2023, 45(7): 1366-1379.
- [18] 叶士琳, 曹有挥, 蒋自然, 王佳韡. 基于力学平衡模型的长三角港口物流发展协调性研究. *地理科学*, 2017, 37(11): 1624-1631.
- [19] 余富祥, 胡月明, 刘振杰, 李波, 王璐. 基于力学平衡模型的耕地多功能演变及其协调性分析——以珠江三角洲为例. *农业资源与环境学报*, 2019, 36(6): 728-737.
- [20] Liang T, Du P, Yang F, Su Y X, Luo Y C, Wu Y, Wen C H. Potential land-use conflicts in the urban center of Chongqing based on the “production-living-ecological space” perspective. *Land*, 2022, 11(9): 1415.
- [21] Zhou D, Lin Z L, Lim S H. Spatial characteristics and risk factor identification for land use spatial conflicts in a rapid urbanization region in China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2019, 191(11): 677.
- [22] 董兆蓉, 苑全治, 王紫晨, 任平. 川西农牧交错带“三生”空间冲突演变特征分析及模拟预测——以阿坝州四县为例. *生态学报*, 2023, 43(15): 6243-6256.
- [23] 杨辰丛海. 海岸带地区三生空间演变与协调性分析——以惠安县、晋江市为例. *亚热带水土保持*, 2021, 33(3): 21-25, 43.
- [24] 韦江伟, 赵锐锋, 李玲慧, 贾志斌. 干旱区三生用地时空演变特征及空间冲突研究——以黑河中游地区为例. *水土保持研究*, 2021, 28(4): 284-292.
- [25] Xi F R, Wang R P, Shi J S, Zhang J D, Yu Y, Wang N, Wang Z Y. Spatio-temporal pattern and conflict identification of production-living-ecological space in the Yellow River Basin. *Land*, 2022, 11(5): 744.
- [26] 李文青, 赵雪雁, 杜昱璇, 马平易. 秦巴山区生态系统服务与居民福祉耦合关系的时空变化. *自然资源学报*, 2021, 36(10): 2522-2540.
- [27] He T, Dai X A, Li W Y, Zhou J Y, Zhang J J, Li C, Dai T R, Li W L, Lu H, Ye Y K, Xu L, Jiang X L. Response of net primary productivity of vegetation to drought: a case study of Qinba Mountainous area, China (2001-2018). *Ecological Indicators*, 2023, 149: 110148.
- [28] 孙善良, 张小平, 张志斌. 陕西省 2000—2018 年土地利用时空演变及驱动因素. *水土保持通报*, 2021, 41(4): 339-349.
- [29] 段塔丽. 资源环境约束下连片特困山区农户家庭精准脱贫路径选择——基于陕南秦巴山区农户家庭的调查与分析. *陕西师范大学学报: 哲学社会科学版*, 2019, 48(5): 37-49.
- [30] 苏芳, 齐乐萌, 宋妮妮, 胡玲, 郭晓佳, 薛冰. 陕南秦巴山区农户生计资本对其环境意识的影响分析. *生态科学*, 2024, 43(2): 110-122.
- [31] 陈睿山, 蔡运龙. 土地变化科学中的尺度问题与解决途径. *地理研究*, 2010, 29(7): 1244-1256.
- [32] Yang J L, Dong J W, Xiao X M, Dai J H, Wu C Y, Xia J Y, Zhao G S, Zhao M M, Li Z L, Zhang Y, Ge Q S. Divergent shifts in peak photosynthesis timing of temperate and alpine grasslands in China. *Remote Sensing of Environment*, 2019, 233: 111395.
- [33] Chen Z Q, Yu B L, Yang C S, Zhou Y Y, Yao S J, Qian X J, Wang C X, Wu B, Wu J P. An extended time series (2000-2018) of global NPP-VIIRS-like nighttime light data from a cross-sensor calibration. *Earth System Science Data*, 2021, 13(3): 889-906.
- [34] Peng J, Hu X X, Wang X Y, Meersmans J, Liu Y X, Qiu S J. Simulating the impact of Grain-for-Green Programme on ecosystem services trade-offs in Northwestern Yunnan, China. *Ecosystem Services*, 2019, 39: 100998.
- [35] Liao G T, He P, Gao X S, Lin Z Y, Huang C Y, Zhou W, Deng O P, Xu C H, Deng L J. Land use optimization of rural production-living-ecological space at different scales based on the BP-ANN and CLUE-S models. *Ecological Indicators*, 2022, 137: 108710.
- [36] Zhang L L, Hu B Q, Zhang Z, Liang G D. Research on the spatiotemporal evolution and mechanism of ecosystem service value in the mountain-river-sea transition zone based on “production-living-ecological space” —taking the Karst-Beibu Gulf in Southwest Guangxi, China as an example. *Ecological Indicators*, 2023, 148: 109889.
- [37] Fu J Y, Bu Z Q, Jiang D, Lin G, Li X. Sustainable land use diagnosis based on the perspective of production-living-ecological spaces in China. *Land Use Policy*, 2022, 122: 106386.
- [38] 魏国恩, 刘耀彬, 李汝资, 李硕硕, 骆康, 刘澄浩. 近 40 年鄱阳湖区“三生空间”格局转型与空间异质机制. *生态学报*, 2024, 44(6): 2308-2322.
- [39] 高喆, 冶建明. 玛纳斯河流域土地利用转型生态环境效应及分异机制——基于“三生”空间主导功能判别视角. *干旱区地理*, 2024, 47(11): 1947-1956.
- [40] 赵旭, 汤峰, 张蓬涛, 胡波洋, 徐磊. 基于 CLUE-S 模型的县域生产-生活-生态空间冲突动态模拟及特征分析. *生态学报*, 2019, 39(16): 5897-5908.
- [41] 张玉臻, 陈阳, 王洁, 叶剑平, 张蚌蚌. 黄河流域“三生”功能协调性测度及其差异性优化调控. *农业工程学报*, 2021, 37(12): 251-261.
- [42] 陕永杰, 魏绍康, 原卫利, 苗圆. 长江三角洲城市群“三生”功能耦合协调时空分异及其影响因素. *生态学报*, 2022, 42(16):

6644-6655.

- [43] 李广东, 方创琳. 城市生态—生产—生活空间功能定量识别与分析. 地理学报, 2016, 71(1): 49-65.
- [44] 郑可君, 李琛, 吴映梅, 高彬嫫, 武燕, 李婵. 基于价值评估的川滇生态屏障区生境质量时空演变及其影响因素. 生态与农村环境学报, 2022, 38(11): 1377-1387.
- [45] 徐勇, 黄海艳, 戴强玉, 郭振东, 郑志威, 盘钰春. 西南地区陆地植被生态系统 NPP 时空演变及驱动力分析. 环境科学, 2023, 44(5): 2704-2714.
- [46] 徐建英, 陈吉星, 刘焱序, 樊斐斐, 魏建瑛. “一带一路”地区生态系统服务关系的时空分异与区域响应. 生态学报, 2020, 40(10): 3258-3270.
- [47] Qin Y J, Wang L Z, Yu M, Meng X W, Fan Y T, Huang Z Q, Luo E G, Pijanowski B. The spatio-temporal evolution and transformation mode of human settlement quality from the perspective of “production-living-ecological” spaces—a case study of Jilin Province. *Habitat International*, 2024, 145: 103021.
- [48] Yang Y Y, Ren X Z, Yan J M. Trade-offs or synergies? Identifying dynamic land use functions and their interrelations at the grid scale in urban agglomeration. *Cities*, 2023, 140: 104384.
- [49] 卓莉, 陈晋, 史培军, 辜智慧, 范一大, 一之瀨俊明. 基于夜间灯光数据的中国人口密度模拟. 地理学报, 2005, 60(2): 266-276.
- [50] 赵筱青, 石小倩, 李馥豪, 李益敏, 黄佩. 滇东南喀斯特山区生态系统服务时空格局及功能分区. 地理学报, 2022, 77(3): 736-756.
- [51] 张旭锐, 高建中. 农户新一轮退耕还林的福利效应研究——基于陕西退耕还林区的实证分析. 干旱区资源与环境, 2021, 35(2): 14-20.
- [52] 刘亦文, 邓楠, 颜建军, 胡宗义. 中国集中连片特困区退耕还林还草生态效应评估. 生态学报, 2024, 44(11): 4719-4732.
- [53] 尹力, 魏伟, 薄立明, 张轲, 夏俊楠. 秦巴山区国土空间格局演变特征及驱动力分析. 水土保持学报, 2024, 38(2): 278-293.
- [54] 杨帆, 熊素文, 雷婷, 赵子羽, 刘传虎. 城镇化进程中洞庭湖区“三生空间”格局演变与驱动机制. 生态学报, 2022, 42(17): 7043-7055.
- [55] 蒲金芳, 王亚楠, 张蚌蚌, 卢龙辉, 张凤荣, 王数. 赣东山地丘陵区土地利用多功能与乡村发展的时空耦合关系. 中国农业大学学报, 2022, 27(4): 256-269.
- [56] 任君, 周伟, 郭婧, 黄雨晗, 海文静. 青藏高寒山区土地利用多功能时空分异特征及影响因素探析——以青海省海东市为例. 中国土地科学, 2021, 35(4): 90-100.
- [57] 刘霄, 杨俊孝, 张飞云. 乌鲁木齐市土地多功能利用时空特征及影响因素研究. 土壤通报, 2024, 55(2): 321-330.
- [58] 王清扬, 雷绪斌, 周婧婧, 颜蕾. 县域土地利用多功能的演变及其影响因素——以湖南省为例. 经济地理, 2022, 42(9): 186-192.
- [59] 熊昌盛, 张永蕾, 王雅娟, 栾乔林, 刘学. 中国耕地多功能评价及分区管控. 中国土地科学, 2021, 35(10): 104-114.
- [60] 朱从谋, 李武艳, 杜莹莹, 许红卫, 王珂. 浙江省耕地多功能价值时空变化与权衡-协同关系. 农业工程学报, 2020, 36(14): 263-272.
- [61] 卫新东, 林良国, 罗平平, 王筛妮, 杨洁, 关嘉敏. 耕地多功能耦合协调发展时空格局与驱动力分析. 农业工程学报, 2022, 38(4): 260-269.
- [62] 杨悦, 赵雨, 员学锋, 高雪梅. 乡村振兴背景下陕西省生态环境质量影响因素探究. 生态与农村环境学报, 2023, 39(11): 1399-1409.
- [63] 朱永甜, 余劲. 陕南易地扶贫搬迁减贫效应研究——基于分阶段的讨论. 干旱区资源与环境, 2020, 34(5): 64-69.
- [64] Chen L T, Cai H S. Study on land use conflict identification and territorial spatial zoning control in Rao River Basin, Jiangxi Province, China. *Ecological Indicators*, 2022, 145: 109594.