

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2022.11.014

河南省县域土地利用适宜度 空间格局特征及分区调控

成筱溪^{1,2,3}, 李效顺^{1,2,3}, 和伟康^{1,3}, 倪衡^{1,3}, 赵子龙^{1,3}

1. 中国矿业大学 中国资源型城市转型发展及乡村振兴研究中心, 江苏 徐州 221116;
2. 自然资源部海岸带开发与保护重点实验室, 南京 210095;
3. 江苏贾汪资源枯竭矿区土地修复与生态演替教育部野外观测研究站, 江苏 徐州 221116

摘要: 伴随社会经济快速发展, 区域发展差异日趋凸显, 探讨土地利用分区及影响因素, 可为区域寻求自身发展优势和平衡国土空间布局提供科学依据。构建土地利用适宜度指标, 以河南省县域单元为例划定主体土地利用类型区并诊断其障碍因子。首先采用熵值法和指标体系评价法建立评价模型测算县域土地利用适宜度并分析其交互作用, 随后运用三维魔方、障碍度模型进行分区域障碍因子诊断。研究表明: ① 河南省土地利用适宜度呈现出明显空间分异特征, 城镇建设高值区呈点状分布, 农业发展高值区集中连片分布于河南省东部, 生态利用高值区则集中分布于河南省西部地区; ② 河南省多数县域在适宜度交互作用分析中为单一土地利用优势区, 且不同类型土地利用适宜度间具有明显负相关性; ③ 基于土地利用适宜度与交互关系可将河南省县域土地利用类型划分为单一导向区、复合导向区共7种类型, 城镇建设障碍因子主要围绕人口密度、固定资产投资等指标, 农业发展障碍因子则包含土地垦殖率、人均粮食产量等指标, 生态利用障碍因子则集中于森林覆盖率与生态旅游资源质量指标。研究结果能够为县域社会经济发展及土地利用优化提供定量参考和决策依据。

关键词: 土地利用适宜度; 空间格局; 三维魔方; 分区; 障碍诊断; 河南省

中图分类号: F301.2

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号: 1673-9868(2022)11-0153-13

Spatial Pattern Characteristics of Suitability of Land Use and Regional Regulation in Henan Province

CHENG Xiaoxi^{1,2,3}, LI Xiaoshun^{1,2,3}, HE Weikang^{1,3},
NI Heng^{1,3}, ZHAO Zilong^{1,3}

收稿日期: 2021-10-06

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(71874192); 江苏省社会科学基金重点项目(19GLA006); 自然资源部海岸带开发与保护重点实验室开放基金项目(2019CZEPK10)。

作者简介: 成筱溪, 硕士研究生, 主要从事城镇化与国土空间规划研究。

通信作者: 李效顺, 教授, 博士研究生导师。

1. *Research Center for Transformation Development and Rural Revitalization of Resource-Based Cities in China*, China University of Mining and Technology, Xuzhou Jiangsu 221116, China;
2. *Key Laboratory of Coastal Zone Exploitation and Protection*, Ministry of Natural Resources, Nanjing 210095, China;
3. *Observation and Research Station of Jiangsu Jiawang Resource Exhausted Mining Area Land Restoration and Ecological Succession*, Ministry of Education, Xuzhou Jiangsu 221116, China

Abstract: The regional development differences are gradually becoming prominent with the rapid development of social economy. Exploring the main land use zoning and influencing factors can provide a scientific basis for the region to seek its own development advantages and balance the spatial layout of land. Therefore, taking the county unit of Henan Province as an example, this study aimed to delimit the main land use type area and analyzed the obstacle factors using the land use suitability index. This study evaluated the suitability of county land use and analyzed the interaction with entropy method. The three-dimensional magic method and obstacle degree model were used to divide the county land use types and analyze the obstacle factors. The results show that: ① The suitability of land use in Henan Province shows obvious spatial differentiation characteristics. The high-value areas of urban construction are in point distribution, the high-value areas of agricultural development are concentrated in the East, and the high-value areas of ecological utilization are concentrated in the West. ② The interaction of most counties in Henan Province is concentrated in the advantage area of single land use suitability, and there are obvious negative correlations between different types of land use suitability. ③ According to the land use suitability and interactive relationship, the county land use types in Henan Province are divided into single-guide areas and compound-guide areas. The urban construction obstacle factors mainly focus on population and fixed asset investment indicators. The agricultural development obstacle factors cover the proportion of cultivated land area and per capita grain output indicators. Ecological utilization disorder factors focus on the proportion of local woodland area and the quality of ecological tourism resources. The research results can provide a reference for promoting the social and economic development of counties and the rational utilization of land resources.

Key words: land use suitability; spatial pattern; three dimensional magic cube; zoning; obstacle diagnosis; Henan Province

改革开放以来,我国城镇化水平从1978年的17.9%提高到2021年的64.7%,GDP年均增长9.4%左右,城镇化发展和经济总量的增加带来了大量自然资源消耗与土地利用格局变化,在地理位置、人口、交通、技术等各种因素的综合作用下,也不可避免地带来了区域发展不均衡问题,伴随我国西部大开发等政策实施,沿海与内陆区域经济差距有所减小,但区域内部发展差异问题依旧突出^[1].解决发展不均衡、不协调问题已经成为我国推进区域高质量发展不可回避的难题.以土地利用统筹协调区域内经济发展与农业生产、生态保护之间的关系,科学布局城镇、农业、生态空间,深刻影响着区域经济社会发展^[2-3].因此,测算县域城镇、农业、生态土地利用适宜度对寻找其发展优势、弥补发展差距并促进经济、社会、生态高质量发展具有重要意义.

土地利用适宜度评价通过考虑人类未来活动、需求或规划以确定最合适的土地利用方式^[4-5],表征为土地对某一种用地方式的适宜程度.土地利用适宜度可以追溯到以课税为目的的土地评价,随后在土地分类定级与土地潜力评价的基础上衍生出了以规划为目的的土地适宜度评价^[6],联合国粮农组织拟定的《土地评价纲要》为土地适宜度评价提供了基本框架^[7].随着社会经济水平的快速提升以及人类需求的日益增加,可持续发展理念的提出使土地利用适宜度评价开始从农业适宜度评价向生态景观、城镇建设适宜度评价等人类生活方面延伸^[8],指标选取趋向多元化.目前,国内外学者对土地利用适宜度的研究主要在不同目的、研究区域、指标构建、测算方法等方面进行了重点探讨,呈现出丰富的研究成果.对土地利用优化、

矿区土地再利用、土地利用冲突治理、农用地生产力保护、城市发展政策情景选择^[9-15]等具体问题的探讨将适宜度评价指标日益精细化、具体化;研究区域主要集中于省域、市域、流域、沿海地区、生态经济区^[7,16-17]等行政区或国家政策倾斜区域;评价指标体系主要围绕“三生”空间,适宜度与约束性,自然、区位、经济^[16-19]等角度进行构建;测算方法多以 GIS 为基础综合运用综合指数、神经网络、生态位适宜度、蚁群算法^[7,20-22]等多种模型,评价方法日益丰富化、多元化。然而,通过构建土地利用适宜度指标,从县域尺度划定主体土地利用类型区并诊断其障碍因子的研究文献相对较少。

鉴于此,本研究以河南省县域行政单元为研究对象,构建基于“城镇建设-农业发展-生态利用”3 种方式的土地利用适宜度测度指标体系,对比 2008,2013,2018 年河南省县域土地利用适宜度空间分异特征,结合三维魔方进行区域土地利用分区,并进行土地利用适宜度障碍因子诊断,为探索县域发展优势与发展路径,实现区域协调发展提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

河南省位于我国中东部、黄河中下游,地理位置为 $110^{\circ}21' - 116^{\circ}39'E$, $31^{\circ}23' - 36^{\circ}22'N$,全省总面积 16.7万 km^2 ,占全国总面积的 1.73% ,东接安徽、山东,北接河北、山西,西连陕西,地理位置优越。地势西高东低,北、西、南三面山地沿省界呈半环形分布,中东部、西南部为平原盆地。河南省大部分地处暖温带气候区,地跨长江、淮河、黄河、海河四大流域,耕地面积广阔,动植物、矿产资源丰富,是全国农产品主产区和重要的矿产资源大省。土地利用以林地和耕地为主,两者共占区域面积的近 70% 。其中林地主要分布于西部海拔较高的山地,耕地主要分布在中东部的黄淮海平原区,区域内光热资源充足、土地平整、灌溉条件较好,主要作为粮食产区。

近年来河南省社会经济发展较快,2020 年其经济总量居全国第 5 位、中西部省份首位,经济发展活力、人民生活水平不断提升。2020 年河南省 GDP 总值增长至 54 997 亿元,城乡居民人均可支配收入增长至 34 750 元,社会经济发展整体势头良好,但各县之间发展差异较大,发展不平衡问题突出,2020 年河南省县域 GDP 标准差达 298,西部、南部山地丘陵区县域 GDP 产值远低于中东部,县域经济发展优势未得到充分挖掘,将县域优势转变为经济发展动能的能力有待提升。因此,本研究以县域为单位对河南省各县土地利用适宜度进行测算,明确不同县域土地利用适宜方向,为加快县域经济发展和优化土地利用提供借鉴。

1.2 数据来源

本研究区域为河南省县域,研究的基本单元是河南省县级行政区,根据河南省近年行政区划调整结果以及本研究分区目标,以河南省 2018 年行政区划为研究基础,对研究对象进行整合,确定 158 个县(市、区)研究单元,研究河南省土地利用适宜度时空格局特征并进行土地利用分区。研究中涉及的河南省县(市、区)常住人口数、GDP 总量、城镇人口数、固定资产投资额、农作物播种面积、粮食总产量、农林水事务财政投入、种植业机械总动力等社会经济数据均来源于《河南统计年鉴》《中国县域统计年鉴(县市卷)》以及各地级市统计年鉴(2009,2014,2019 年);研究中涉及的县域土地利用数据、自然保护区名录、高程坡度、河流长度等自然资源数据来自于河南省自然资源厅土地利用变更数据(2009—2018 年)、河南省自然资源厅的河南省自然保护区名录、中国科学院资源环境科学数据中心的资源环境数据云平台以及国家地球系统科学数据共享服务平台,涉及地图以国家地理信息公共服务平台“河南省地图”为基础制作。

1.3 研究方法

1.3.1 土地利用适宜度测算

1) 评价指标体系构建

本研究以代表性、相对独立性为原则,基于对土地利用适宜度内涵及特征的认知,参考前人研究成果^[7,23-28],结合实际特点,从“用地现状-用地潜力”的角度构建综合城镇建设适宜度、农业发展适宜度、生态利用适宜度的河南省县域土地利用适宜度评价指标体系(表 1)。城镇建设适宜度包括 9 项指标,以地形位指数、土地开发强度、城镇人均可支配收入、人口密度、交通密度、地均 GDP 指标表征区域建设现状,

城镇化水平、二三产业 GDP 占比、地均固定资产投入反映城镇建设潜力；农业发展适宜度选取与农用地、耕地相关的自然、社会经济指标，以地形位指数、平均气温、土地垦殖率、复种指数、河网密度、人均粮食产量反映农业生产现状，以第一产业从业人口占比、农林水投入占比、机械动力投入指数 3 项指标表征农业发展潜力；生态利用适宜度则关注于区域生态重要性及旅游资源的丰富程度，选取地形位指数、森林覆盖率、地均生态系统服务价值、自然保护区数量、生境丰度指数、水源涵养指数表征区域生态利用现状及重要程度，选择生态旅游资源品位、第三产业 GDP 占比、环境保护投入占比衡量区域未来生态利用潜力。

表 1 土地利用适宜度评价指标体系

准则层	指标层	单位	指标说明或计算公式	属性	权重
城镇建设适宜度 X	地形位指数 X_1	—	$\ln[(\text{高程}/\text{平均高程}+1) \times (\text{坡度}/\text{平均坡度}+1)]$	—	0.085
	土地开发强度 X_2	%	建设用地面积/区域土地面积	+	0.122
	城镇人均可支配收入 X_3	元	当年城镇居民可支配收入	+	0.086
	人口密度 X_4	人/ km^2	常住人口/区域土地面积	+	0.108
	交通密度 X_5	%	交通用地面积/区域土地面积	+	0.083
	地均 GDP X_6	万元/ km^2	GDP 总量/区域土地面积	+	0.082
	城镇化水平 X_7	%	城镇人口/总人口	+	0.187
	二三产业 GDP 占比 X_8	%	第二三产业 GDP/GDP 总量	+	0.136
	地均固定资产投入 X_9	万元/ km^2	固定资产投资额/区域土地面积	+	0.113
农业发展适宜度 Y	地形位指数 Y_1	—	$\ln[(\text{高程}/\text{平均高程}+1) \times (\text{坡度}/\text{平均坡度}+1)]$	—	0.115
	平均气温 Y_2	$^{\circ}\text{C}$	多年气温/年数	+	0.053
	土地垦殖率 Y_3	%	耕地面积/区域土地面积	+	0.194
	复种指数 Y_4	—	播种面积/耕地面积	+	0.032
	河网密度 Y_5	km/km^2	河流长度/区域土地面积	+	0.056
	人均粮食产量 Y_6	kg/人	粮食总产量/总人口数	+	0.234
	第一产业从业人口占比 Y_7	%	第一产业从业人口/总从业人口	+	0.129
	农林水投入占比 Y_8	%	农林水事务财政投入/财政总投入	+	0.128
	机械动力投入指数 Y_9	kW/km^2	农业机械总动力/农用地面积	+	0.059
生态利用适宜度 Z	地形位指数 Z_1	—	$\ln[(\text{高程}/\text{平均高程}+1) \times (\text{坡度}/\text{平均坡度}+1)]$	+	0.150
	森林覆盖率 Z_2	%	森林覆盖面积/区域土地面积	+	0.129
	地均生态系统服务价值 Z_3	万元/ km^2	生态服务价值总量/区域土地面积	+	0.068
	自然保护区数量 Z_4	个	县域内自然保护区个数	+	0.171
	生境丰度指数 Z_5	—	区域生物多样性丰富程度	+	0.092
	水源涵养指数 Z_6	—	区域水源涵养能力强弱	+	0.108
	生态旅游资源品位 Z_7	—	依据自然保护区设立年代赋分计算	+	0.152
	第三产业 GDP 占比 Z_8	%	第三产业 GDP/GDP 总量	+	0.071
	环境保护投入占比 Z_9	%	环境保护财政投入/财政总投入	+	0.061

注：生态服务价值总量使用当量价值法测算。生境丰度指数 = $A_i B_o \times (0.35 \times \text{林地} + 0.21 \times \text{草地} + 0.28 \times \text{水域湿地} + 0.11 \times \text{耕地} + 0.04 \times \text{建设用地} + 0.01 \times \text{未利用地}) / \text{区域土地面积}$ ，式中 $A_i B_o$ 为生境质量指数的归一化系数，参考值为 511.26。水源涵养指数 = $A_{com} \times 0.45 \times (0.1 \times \text{河流面积} + 0.3 \times \text{湖库面积} + 0.6 \times \text{滩涂及沼泽面积}) + 0.35 \times (0.6 \times \text{有林面积} + 0.25 \times \text{灌木林地面积} + 0.15 \times \text{其他林地面积}) + 0.2 \times (0.6 \times \text{高盖度草地面积} + 0.3 \times \text{中盖度草地面积} + 0.1 \times \text{低盖度草地面积}) / \text{区域土地面积}$ ，式中 A_{com} 为水源涵养指数的归一化系数，参考生境质量指数的归一化系数，参考值为 526.79。生态旅游资源品位依据设立年代及自然保护区等级进行赋分累加计算，国家级自然保护区 20 世纪 50 年代设立计 10 分，以后每个年代减 1 分，2000 年后设立的归为一类；省级自然保护区设立于 20 世纪 80 年代前计 4 分，以后每个年代减 1 分，2000 年后设立的归为一类。

2) 指标赋权与综合评价

评价指标权重的计算通常有主观赋权和客观赋权两种方式. 主观赋权法对赋权人的专业能力要求较高, 主观性和不确定性较强, 因而应用较少. 常用客观赋权法包括熵权法、层次分析法、主成分分析法^[29]等. 熵权法引用信息熵概念, 通过熵的大小对数据信息进行度量, 依据数据本身的离散性获取指标权重, 具有较强的科学性, 本研究利用熵权法确定指标权重, 并基于权重进行土地利用适宜度综合评价.

① 数据标准化.

正向指标:

$$Y_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_j)}{\max(x_j) - \min(x_j)} \quad (1)$$

负向指标:

$$Y_{ij} = \frac{\max(x_j) - x_{ij}}{\max(x_j) - \min(x_j)} \quad (2)$$

式中: Y_{ij} 为第 i 个县域第 j 项指标的标准化值; x_{ij} 为第 i 个县域第 j 项指标的实际值; $\max(x_j), \min(x_j)$ 为第 j 项指标的最大值和最小值.

② 计算第 j 项指标的信息熵 E_j .

$$E_j = -\ln(m)^{-1} \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} \quad (3)$$

式中: m 为研究单元数量; $p_{ij} = Y_{ij} / \sum_{i=1}^m Y_{ij}$. 如果 $p_{ij} = 0$, 则定义 $\lim_{p_{ij} \rightarrow 0} p_{ij} \ln p_{ij} = 0$.

③ 计算第 j 项指标的权重 W_j .

$$W_j = \frac{1 - E_j}{\sum_{i=1}^n (1 - E_j)} \quad (0 \leq W_j \leq 1); \quad \sum_{i=1}^n W_j = 1 \quad (4)$$

式中: n 为选取指标个数, 分别求 3 期时点评价指标权重平均值, 然后计算指标最终权重.

④ 分类计算河南省各县土地利用适宜度 F .

$$F = \sum_{i=1}^n \overline{W}_j Y_{ij} \quad (5)$$

式中: F 为各类土地利用适宜度指数, 相对应分别为城镇建设适宜度 X 、农业发展适宜度 Y 、生态利用适宜度 Z ; \overline{W}_j 为第 j 个指标求取 3 期权重平均值后的最终权重; Y_{ij} 为第 i 个土地利用方向指标 j 的标准化数值.

1.3.2 土地利用适宜度交互作用分析

采用斯皮尔曼相关系数^[30]对土地利用适宜度之间的交互作用进行定量分析, 明确不同土地利用类型适宜度之间的相关关系, 为土地利用类型分区提供参考.

1) 相关系数测算

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 (y_i - \bar{y})^2}} \quad (6)$$

式中: ρ 为相关系数; x_i 和 y_i 为参与数据测算的第 i 个 x 值与 y 值, 两个变量平均值分别用 \bar{x}, \bar{y} 表示.

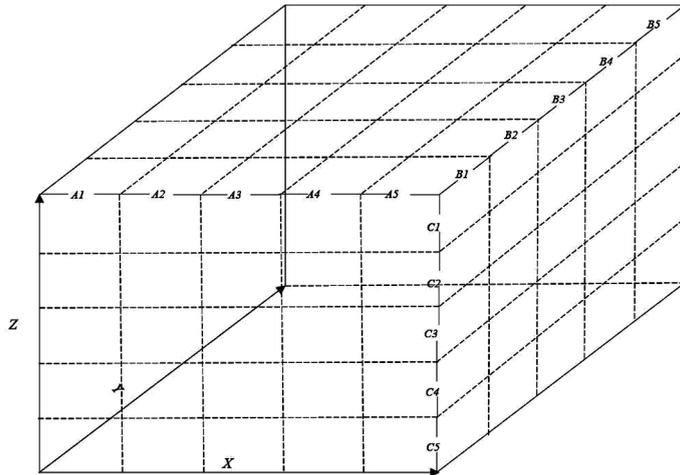
2) 相关系数检验

$$t = \frac{\rho \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-\rho^2}} \quad (7)$$

式中: n 为样本数量. 自由度为 $n-2$. 当 t 值大于 $t_{0.05}(n-2)$, 原假设不被接受, 当 t 值小于 $t_{0.05}(n-2)$, 原假设不能被拒绝.

1.3.3 土地利用类型分区

利用三维魔方空间分类法进行县域土地利用类型分区, 三维魔方分类法是矩阵分类法从二维向三维的拓展, 用自然断点法将城镇建设、农业发展和生态利用按适宜度从高到低划分为高、中高、中、中低、低 5 级, 分别以城镇建设适宜度、农业发展适宜度、生态利用适宜度作为 X, Y, Z 轴, 构建三维坐标体系(图 1), 形成一个 $5 \times 5 \times 5$ 共 125 个单元的三维魔方, 按照高级优先确定单一导向类型, 同级确定为复合导向类型的原则划定县域主导土地利用类型分区^[2, 31].



X 为城镇建设适宜度; Y 为农业发展适宜度; Z 为生态利用适宜度; $A1, A2, A3, A4, A5$ 为城镇建设适宜度等级; $B1, B2, B3, B4, B5$ 为农业发展适宜度等级; $C1, C2, C3, C4, C5$ 为生态利用适宜度等级。

图 1 土地利用分区三维魔方分析图

1.3.4 土地利用适宜度障碍因子诊断

运用障碍度模型对指标进行障碍量化^[32-33], 分类找出影响不同分区土地利用适宜度的关键因素, 通过障碍因子的识别与分析, 为不同类型的土地利用区的优化路径提出调控建议。

$$O_{ij} = \frac{\overline{W}_j(1 - Y_{ij})}{\sum_{i=1}^n W_j(1 - Y_{ij})} \times 100\% \quad (8)$$

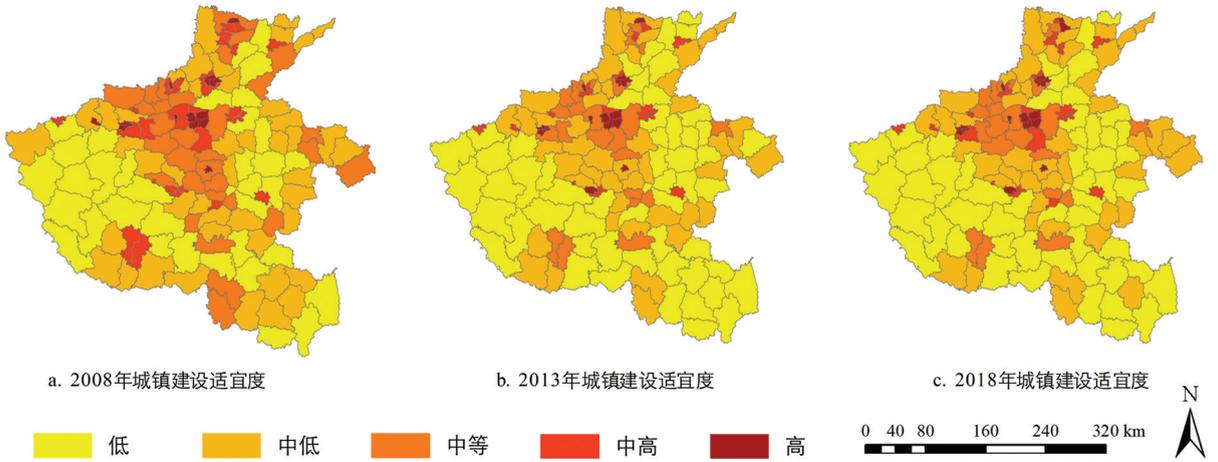
式中: \overline{W}_j 为指标对土地利用适宜度的贡献度, 用指标权重来表示; $(1 - Y_{ij})$ 为指标偏离度, 表示第 i 个土地利用方向第 j 项指标标准化值与理想值之间差距; O_{ij} 则为障碍度, 表示第 i 个土地利用方向第 j 项指标对区域土地利用适宜度的影响程度。

2 结果与分析

2.1 土地利用适宜度时空格局特征

借助所构建的适宜度评价指标体系及评价方法, 完成对土地利用适宜度的测算, 在此基础上, 运用 ArcGIS 10.2 软件, 利用自然断点法将城镇建设适宜度、农业发展适宜度和生态利用适宜度划分为高、中高、中等、中低、低 5 个等级。

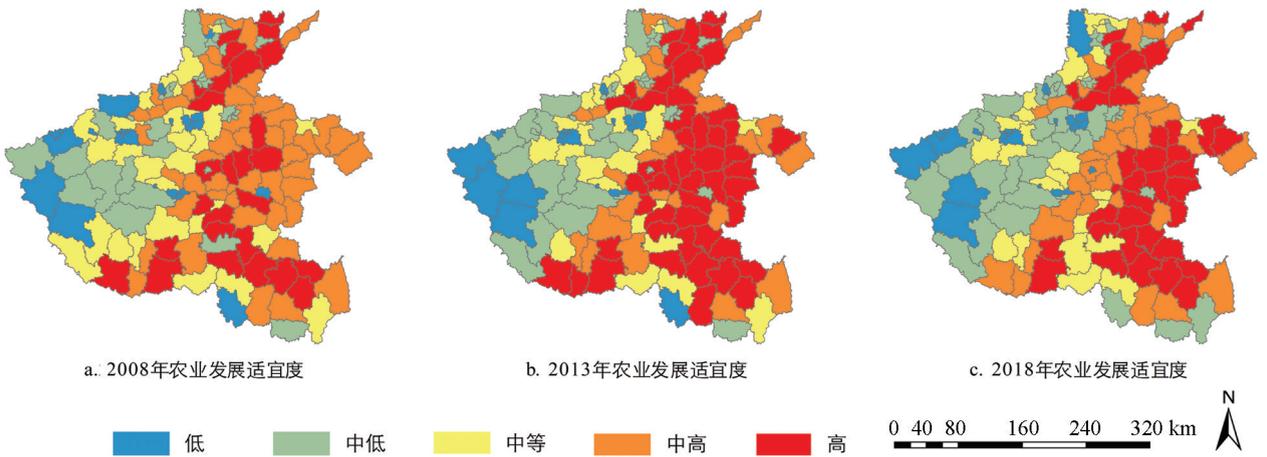
城镇建设适宜度从时序上看, 2008—2018 年整体呈先减再增的变化态势, 集聚效应明显。中部、北部县域城镇建设适宜度整体保持平稳并呈现部分增长, 西南部、南部地区县域城镇建设适宜度降低。2008—2013 年城镇建设适宜度整体降低, 多数县域城镇建设适宜度等级降低, 2013—2018 年城镇建设适宜度有所提升。从空间上来看, 城镇建设适宜度空间格局基本呈现出中高周低、北高南低的分布特点, 中东部县域城镇建设适宜度明显优于西南地区, 地级市辖区以及地级市周边县域适宜度远高于距离地级市较远的县。高值县域呈点状分布在郑州、洛阳、新乡等市辖区内及周边区域, 中高值区主要集中于中部地区, 此区具有良好的城市建设本底, 内部基础设施相对完善, 低值区集中连片分布于西南部、中东部地区, 多为山地、耕地, 城镇建设相对滞后, 城镇建设适宜度等级较低(图 1)。



底图审图号: 豫 S(2019 年)013 号

图 2 城镇建设适宜度空间分异图

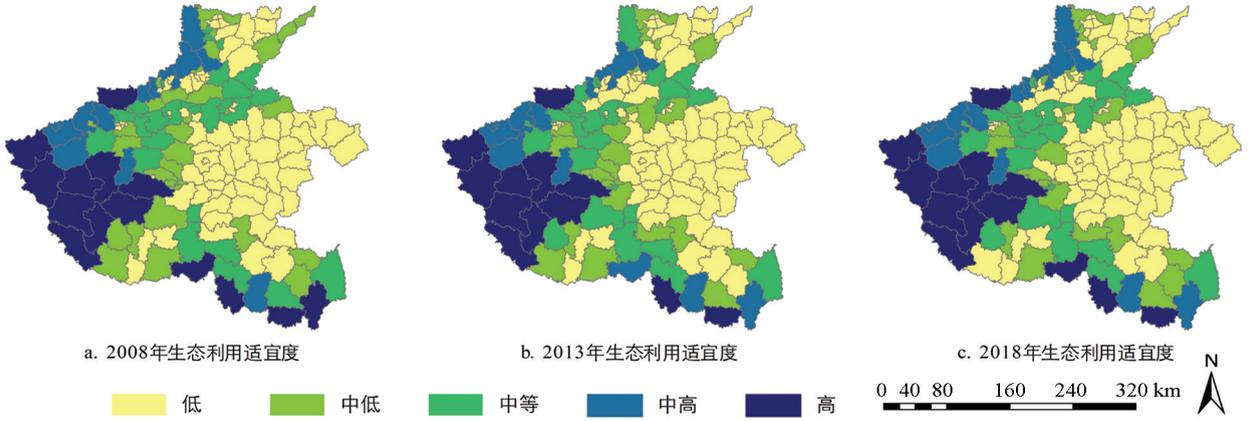
农业发展适宜度从时序上看, 2008—2018 年东西部差异明显, 西部县域农业发展适宜度逐步降低, 而东部地区县域则呈现适宜度先增后减的变化态势, 2008—2013 年中东部地区多数县域农业发展适宜度快速提升, 高值区在东部形成集中连片分布, 而西部部分县域农业发展适宜度有一定程度的下降, 2013—2018 年则呈现多数县域农业发展适宜度下降的变化态势, 从空间上来看, 高值区连片集中分布于东部地区, 零星分布于西南部, 中低、低值区连片分布于西部地区, 农业发展适宜度等级整体自东向西依次递减, 中东部地区由于地势平坦, 农业发展的自然条件优越, 具备良好的农业生产能力, 因而农业发展适宜度较高, 中西部地区由于受到自然条件、城镇扩张等因素的限制, 农业发展适宜度普遍处于中低、低值区(图 3)。



底图审图号: 豫 S(2019 年)013 号

图 3 农业发展适宜度空间分异图

生态利用适宜度从时序上看, 2008—2018 年整体变化平稳, 中部、南部部分县域生态利用适宜度等级下降, 适宜度整体变化跨度较小, 从空间上看, 河南省县域生态利用适宜度呈现明显的梯度变化特征, 围绕生态利用高值区生态利用适宜度呈梯度逐级递减, 从高到低依次为: 西南部和南部、西北部和中南部、中东部, 高值区集中在秦岭东部山地丘陵区、大别山山地丘陵区、桐柏山脉山地丘陵区等地形起伏较大、生态禀赋较为优越的地区; 城市市辖区以及东部地区由于土地利用的差异导致其生态价值较低, 多处于低值区(图 4)。



底图审图号: 豫 S(2019 年)013 号

图 4 生态利用适宜度空间分异图

2.2 县域土地利用适宜度空间分布与交互作用

2.2.1 县域土地利用适宜度空间分布

运用三维坐标将河南省县域土地利用适宜度按城镇建设适宜度 X 、农业发展适宜度 Y 、生态利用适宜度 Z 进行空间呈现,同时基于方向进行投影,生成河南省县域 2008 年、2013 年、2018 年土地利用适宜度三维空间分布投影图(图 5)。

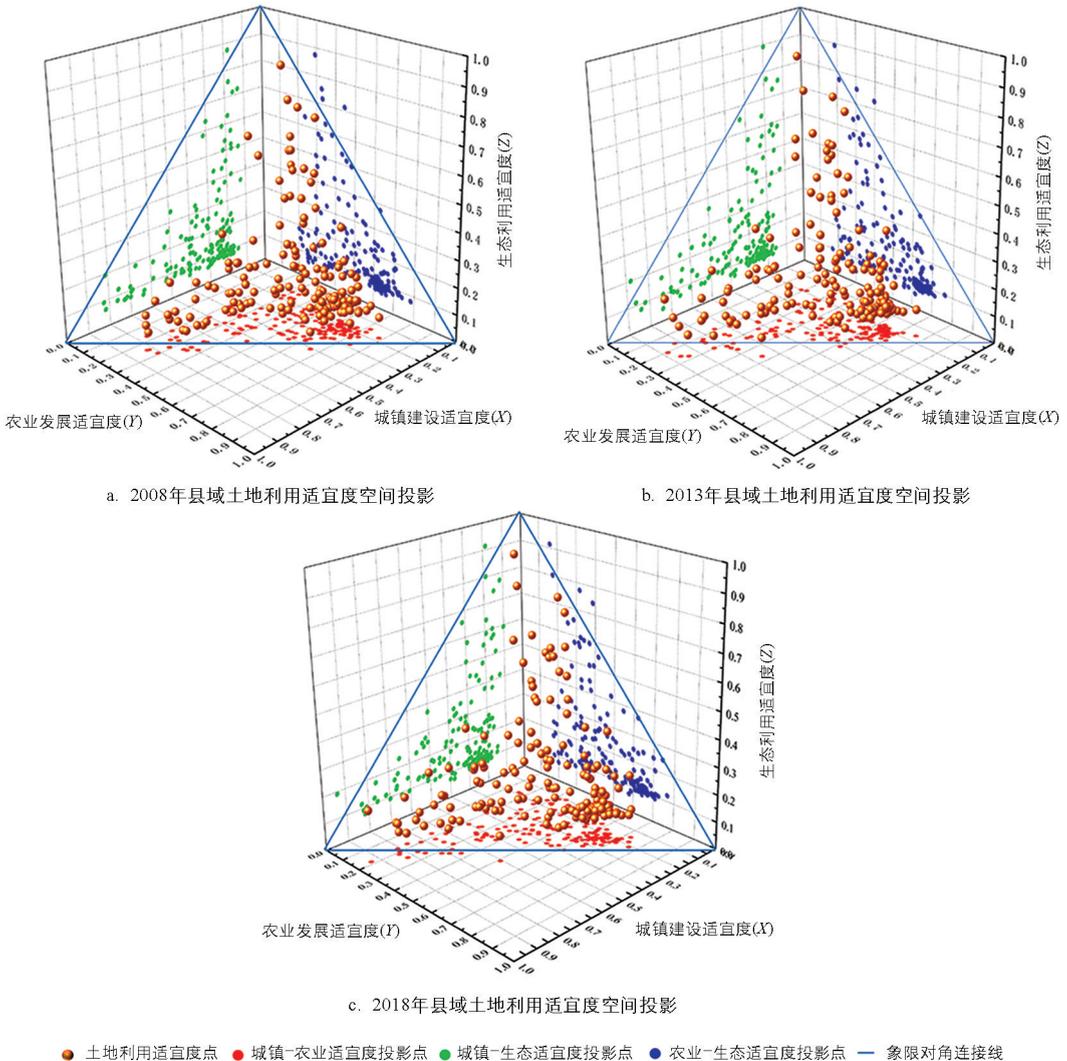


图 5 土地利用适宜度空间分布投影图

从整体集聚情况来看,绝大多数适宜度点集中分布于象限对角线的下方,表征多数县域土地利用适宜度呈现单向优势现象,城镇建设、生态利用适宜度呈现低值集聚,而农业发展适宜度则表现为高值集聚.从变化态势来看,3 种类型土地利用适宜度在 10 年间表现出不同程度的变化趋势,城镇建设适宜度分布区沿象限对角线延伸,农业发展适宜度变化表现为高值区聚集点数量减少,生态利用适宜度则表现为整体抬升,表明各县生态状况逐步得到改善.

2.2.2 县域土地利用适宜度交互作用

结合土地利用适宜度之间的 Spearman 相关系数计算,形成相关性检验表(表 2),发现各类土地利用适宜度间存在显著负相关关系.2008—2018 年城镇建设与农业发展适宜度负相关系数依次为 0.52,0.51,0.54,随着城镇化的快速发展,城市扩张导致耕地面积不断受到挤压,大量农村人口转变为城市人口,农业生产能力降低,导致部分县域农业发展适宜度随城镇建设推进不断降低,同时,粮食大省定位和耕地保护政策的框定,也限制了农业大县城镇化的发展,多重因素的共同作用,导致城镇建设、农业发展适宜度在同一地域显著表现为单向优势性.2008—2018 年生态利用与农业发展适宜度负相关系数依次为 0.28,0.43,0.44,同样表征为单向优势性,生态利用适宜度高值区由于地形、坡度、植被覆盖等自然条件的特殊性,与农业发展需求天然相悖,同时退耕还林、还草等环保政策的实施,也在耕地面积、农业投入等方面限制了农业大规模发展,降低了区域农业发展适宜度.2008—2018 年城镇建设与生态利用适宜度负相关系数依次为 0.29,0.27,0.23,负相关系数逐步降低,表征城镇建设适宜度与生态利用适宜度开始有同向增长趋势,这与近年来环保意识逐步增强,城市生态环境改善密切相关.

表 2 土地利用适宜度间 Spearman 相关性检验表

		2008 年			2013 年			2018 年		
		城镇建设	农业发展	生态利用	城镇建设	农业发展	生态利用	城镇建设	农业发展	生态利用
城镇建设	相关系数	1.00	-0.52**	-0.29**	1.00	-0.51**	-0.27**	1.00	-0.54**	-0.23**
	显著性	—	0.00	0.00	—	0.00	0.00	—	0.00	0.00
农业发展	相关系数	-0.52**	1.00	-0.28**	-0.51**	1.00	-0.43**	-0.54**	1.00	-0.44**
	显著性	0.00	—	0.00	0.00	—	0.00	0.00	—	0.00
生态利用	相关系数	-0.29**	-0.28**	1.00	-0.27**	-0.43**	1.00	-0.23**	-0.44**	1.00
	显著性	0.00	0.00	—	0.00	0.00	—	0.01	0.00	—

注: ** 表示在 0.01 显著性水平(双侧)有统计学意义.

2.3 县域土地利用类型分区及障碍识别调控

2.3.1 县域土地利用类型分区

依据适宜度评级划分,运用三维魔方法比较河南省县域不同土地利用类型适宜度,考虑交互作用,进行县域主导土地利用类型识别.最终将 158 个县(市、区)划分为 7 种不同的土地利用区,包含 3 个单一土地利用主导类型区、4 个复合土地利用主导类型区,分别为城镇建设区、农业发展区、生态利用区、城镇-农业区、城镇-生态区、农业-生态区、综合区(图 6).

单一土地利用类型区包含县(市、区)较多,其中城镇建设区包括 36 个县域单位,呈点状分布于河南省市辖区及周边区域,主要特征为“高城镇-低农业-低生态”型土地利用适宜度组合,县(市、区)数量占河南省的 24.05%,土地开发强度均在 40%以上,区域地势平坦,交通便利,工业和服务业比较发达,具备良好的城镇建设能力.农业发展区包括 64 个县域单位,包含县(市、区)数量最多,连片分布于河南省东部地区,为“低城镇-高农业-低生态”型适宜度组合,集中了河南省 70.58%的耕地面积和 74.38%的粮食产量,整体地势平坦,水资源丰富,农业机械化水平较高,是推进农业建设的重点地区.生态利用区包括 23 个县域单位,分布于河南省西、南部地区,主要为山地丘陵面积占比较高的县,为“低城镇-低农业-高生态”型适宜度组合,分布着河南省 71.89%的林地,生态环境保护区、国家级和省级自然保

护区众多,在改善河南省整体生态环境方面占有至关重要的地位。

复合类型县(市、区)存在多类型适宜度等级相等的情况,相比于单一发展导向类型区较少,其单一类型适宜度等级均低于单一土地利用类型区优势适宜度等级,呈现出适宜度“均衡而不突出”的特点。城镇-农业区包括 10 个县域单位,多位于市辖区内部,主要特征为“较高城镇-较高农业-低生态”型适宜度组合,现阶段其城镇建设具有一定的规模,但相较于城镇建设区与农业发展区存在较大的差距。城镇-生态区包括 7 个县域单位,多为与市辖区接壤的县(市、区),以

“较高城镇-低农业-较高生态”为主要特征,区域内分布多个自然保护区,生态保护重要性相对较强,区域内部土地开发强度、路网密度等城镇基础设施建设水平有待提升。农业-生态区包括 9 个县域单位,零星分布于生态利用区周边,以“低城镇-较高农业-较高生态”为主要特征,农业生产自然条件劣于农业发展区,具有相对较好的生态旅游资源。综合区包含 9 个县域单位,处于城镇建设、农业发展、生态利用高值区的过渡地区,以“中等城镇-中等农业-中等生态”为主要特征,区域城镇发展处于起步阶段,农业发展不具有明显优势,生态环境保护重要性适中。

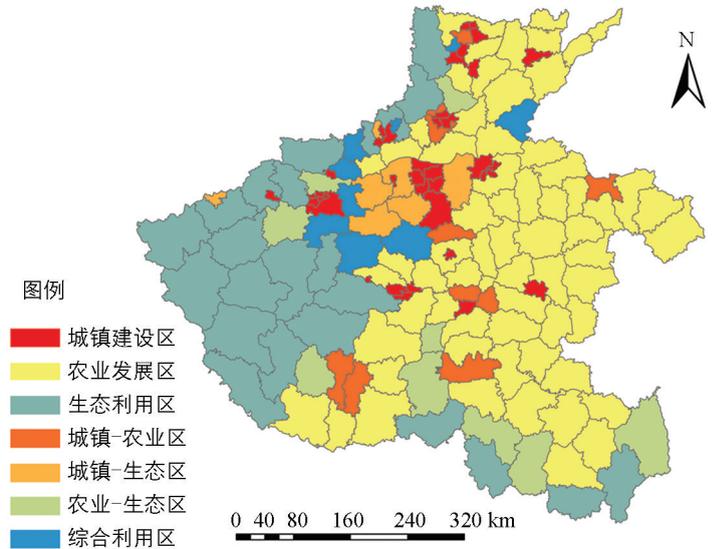
2.3.2 土地利用适宜度障碍诊断

以测算不同分区指标因子对适宜度影响的程度为目标,利用障碍度均值表征障碍指标强度,障碍度均值越大,说明对适宜度的影响越大,得出影响河南省县域土地利用适宜度的因子排序(表 3)。

城镇建设区的障碍因子 10 年间未有显著变化,为地均固定资产投资、人口密度、城镇化水平,其障碍影响均值均在 12% 以上,障碍因素综合作用在地区呈现出城镇吸引人口能力不突出、用地不高效等问题。该区域一是亟待进行土地集约利用改造,发掘土地利用潜力,制定推进土地集约利用相关政策,以土地集约利用代替城市建成区过度扩张;二是加强城市基础设施、公共服务设施的建设,逐步提升城镇对周边人口的引力作用;三是加强区域经济发展的高效性,以土地资源的高效利用作为提升经济发展的有效抓手,立足区域发展自身特色,积极引进先进技术,推进区域高效产出。

农业发展区的障碍因子集中于农业发展的社会经济因素,为人均粮食产量、第一产业从业人口占比、农林水投入占比、复种指数。区域整体呈现出农业产出能力待提升、政府对农业扶持力度较缺乏的问题。该区域首先应进一步落实耕地保护制度,引进先进的农业生产技术、保护性耕作技术,同时对中低产田进行改造,不断提升耕地产出能力,保障粮食安全;其次,依据自身农业优势,在发展粮食生产的同时发展地方特色农业,吸纳剩余农业劳动力;最后,政府应针对农村农田水利建设以及农业机械化投入等问题,进行重点资金投入,助力实现农业现代化发展。

生态利用区主要障碍因子为地形这一自然因素,十年间障碍均值保持在 17% 左右,其次为地区旅游资源丰度指标,该区主要面临生态旅游资源开发不足、区域独特旅游定位不明显等问题,应积极将当地生态环境保护与区域生态旅游产业发展联系起来,将自然环境优势转变为旅游发展优势,拓展生态养殖等绿色产业,推进区域绿色经济发展;在推行生态旅游产业发展的同时,应加强对当地生态环境保护的重视,严禁毁林开荒,不断增强生态服务功能,推进河南省生态环境水平整体提升。



底图审图号: 豫 S(2019 年)013 号

图 6 河南省县域土地利用分区图

表 3 2008, 2013, 2018 年不同土地利用分区障碍度

土地利用分区	障碍度指标排序									
	2008 年			2013 年			2018 年			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
城镇建设区	X ₉	X ₇	X ₄	X ₉	X ₄	X ₇	X ₄	X ₇	X ₉	
	14.26	13.64	13.50	16.61	14.02	12.86	15.18	14.80	14.74	
农业发展区	Y ₆	Y ₈	Y ₄	Y ₆	Y ₇	Y ₈	Y ₆	Y ₈	Y ₇	
	23.79	18.36	14.11	26.69	16.18	13.36	23.18	19.52	15.67	
生态利用区	Z ₁	Z ₄	Z ₇	Z ₁	Z ₇	Z ₄	Z ₁	Z ₇	Z ₄	
	16.51	14.01	13.91	18.49	15.33	15.19	17.20	14.86	14.71	
障碍因子与均值/%	城镇-农业区	Y ₆	X ₇	X ₈	Y ₃	X ₇	Y ₆	Y ₃	Y ₆	X ₇
		13.50	11.57	8.62	12.18	11.46	8.29	10.69	10.43	10.00
	城镇-生态区	X ₇	Z ₇	X ₉	X ₇	Z ₇	Z ₂	X ₇	Z ₇	Z ₂
		12.42	10.52	8.30	11.31	10.14	9.56	11.41	9.57	8.77
	农业-生态区	Y ₆	Z ₁	Y ₃	Z ₄	Z ₇	Y ₆	Y ₆	Z ₁	Z ₇
		13.95	9.05	9.00	11.69	10.41	9.22	13.81	9.27	9.10
	综合区	Y ₃	X ₇	Y ₆	Y ₆	Y ₃	X ₇	Y ₆	Y ₃	X ₇
		9.23	8.91	7.19	9.98	6.44	6.22	8.81	7.30	6.94

城镇-农业区在农业发展障碍因子中主要涉及土地垦殖率、人均粮食产量两项指标, 城镇建设障碍因子中具有突出影响的是城镇化水平和二三产业 GDP 占比两项指标, 农业发展障碍因子对区域土地利用适宜度的影响更为突出, 该区域主要面临城镇扩张与农业发展的冲突, 存在耕地受建设用地挤压、农业人口流失等问题. 该区域应首先充分利用现有建设用地, 提升现有非农用地土地利用效率, 推进单位土地形成高效产出; 其次要加强对区域耕地尤其是基本农田的保护, 推进农业机械化、规模化发展, 运用先进技术加强农业产出, 积极探索农业发展与城镇建设的有效融合.

城镇-生态区在城镇建设障碍因子中主要涉及城镇化水平指标, 生态利用障碍因子中则涉及森林覆盖率、生态旅游资源品位指标, 生态利用障碍度均值逐步下降. 该区域面临城镇人口不足、生态用地与建设用地利用冲突、地方生态旅游特色不突出等问题. 应严格控制城镇建设带来的生态环境破坏, 保障生态功能安全, 同时定位自身产业发展优势, 集中进行产业园建设, 推进产业集中布局, 提升土地使用效率, 引进和培育生态友好型产业. 积极发掘符合本地资源优势且能充分利用优良环境的生态旅游、乡村旅游项目, 推进区域旅游发展.

农业-生态区在农业发展障碍因子中涉及人均粮食产量、土地垦殖率两项指标, 在生态利用障碍因子中涉及地形位指数、自然保护区数量、生态旅游资源品位 3 项指标, 农业发展障碍因子影响最为显著. 区域面临农业产出效率不高、用地利用冲突、旅游资源优势不明显的问题. 该区域应在农业发展过程中树立生态保护观念, 严令禁止坡地开垦、过度使用化肥农药, 保障农业发展的同时生态环境不滑坡; 同时推进当地生态农业发展, 将生态环境保护目标与农业发展相融合, 在不同地形、土壤、气候条件下, 因地制宜发展农业.

综合区与城镇-农业区的障碍因子较为类似, 在农业发展障碍因子中涉及土地垦殖率、人均粮食产量, 在城镇建设障碍因子中涉及城镇化水平一项指标. 区域同样面临农业产业产出效率不高, 耕地与建设用地、生态用地利用冲突, 城镇区人口吸引力不明显的问题. 应针对当前发展现状, 扬长避短, 推进区域内部基础设施建设, 改善当地居民的生活水平; 在地形起伏相对较大、生态环境脆弱、林地面积占比较高的区域, 加强生态保护, 在地形相对平缓的区域推进农业发展、城镇建设, 提高区域土地综合利用水平.

3 结论与讨论

本研究按照“指标构建-演变分析-分区划定-障碍诊断-分区调控”的研究思路,以河南省为研究区,构建县域土地利用适宜度评价指标体系,并从城镇建设、农业发展、生态利用3个主体土地利用分区方向对土地利用适宜度进行评价,明晰县域土地利用适宜度空间格局特征并进行土地利用类型划分,进而诊断了不同类型区所面临的障碍因子,并提出了调控措施,研究结果及主要结论:

1) 河南省县域发展适宜度呈现出明显的时空分异特征,城镇建设适宜度表现为先点状发展再辐射发展,农业发展适宜度高值区不断向河南省东部集聚,生态利用适宜度高值区集中于河南省西部山地、丘陵区,零星分布于南部。

2) 结合土地利用适宜点空间分布和 Spearman 相关系数检验,城镇建设适宜度与农业发展适宜度、生态利用适宜度,三者间关系均为显著负相关,且城镇与农业、农业与生态两组适宜度之间的冲突作用明显加剧,城镇与生态间的冲突作用有所缓和。

3) 运用三维魔方方法结合土地利用适宜度间的交互作用,将河南省县域单位划分为城镇建设区、农业发展区、生态利用区3个单一土地利用主导类型区,城镇-农业区、城镇-生态区、农业-生态区、综合区4个复合土地利用主导类型区,结合障碍度因子识别,明确每一类型区所面临的问题,针对性地提出了推进县域发展的初步建议。

本研究从不同的土地利用方式着手,将土地适宜度与发展潜力相结合,测算了城镇、农业、生态三大主导功能的土地利用适宜度,通过三维矩阵、相关性分析,得到土地利用分区结果,降低了单一适宜度评价对土地利用分区的局限性,具有一定借鉴和指导意义,但论文仍存在不足:土地利用适宜度评价结合土地利用与发展潜力相关指标,多是依靠现阶段县域发展的实际情况对土地利用进行分区,还没有充分考虑区域发展政策导向问题。另外,土地利用适宜度是县域现有发展表现出的一种趋势,这种趋势并不是一成不变的,随着未来发展情况的复杂变化,还需要进行发展多情景模拟和分区评价。

参考文献:

- [1] 樊杰,赵浩,郭锐. 我国区域发展差距变化的新趋势与应对策略 [J]. 经济地理, 2022, 42(1): 1-11.
- [2] KALANTARI Z, SANTOS FERREIRA C S, PAGE J, et al. Meeting Sustainable Development Challenges in Growing Cities: Coupled Social-Ecological Systems Modeling of Land Use and Water Changes [J]. Journal of Environmental Management, 2019, 245: 471-480.
- [3] 张露洋,雷国平,郭一洋. 基于两维图论聚类的辽宁省土地利用多功能性分区 [J]. 农业工程学报, 2020, 36(13): 242-249.
- [4] COLLINS M G, STEINER F R, RUSHMAN M J. Land-Use Suitability Analysis in the United States: Historical Development and Promising Technological Achievements [J]. Environmental Management, 2001, 28(5): 611-621.
- [5] 原文超,徐明德,杨晨,等. 基于适宜性评价的土地利用分区研究——以山西省汾阳市为例 [J]. 干旱地区农业研究, 2018, 36(2): 210-217, 225.
- [6] 曾敏. 县域土地利用生态适宜性评价研究——以嘉禾县为例 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2014.
- [7] 王明杰,余斌,何永娇,等. 空间规划视阈下的洱河流域土地利用多功能适宜性研究 [J]. 中国农业资源与区划, 2020, 41(3): 220-229.
- [8] WANG G L, YANG D G, XIA F Q, et al. Three Types of Spatial Function Zoning in Key Ecological Function Areas Based on Ecological and Economic Coordinated Development: A Case Study of Tacheng Basin, China [J]. Chinese Geographical Science, 2019, 29(4): 689-699.
- [9] TERZI F, TEZER A, TURKAY Z, et al. An Ecosystem Services-Based Approach for Decision-Making in Urban Planning [J]. Journal of Environmental Planning and Management, 2020, 63(3): 433-452.
- [10] 汤昇,于婧,陈艳红,等. 乡村振兴背景下农村居民点用地适宜性评价——以慈利县为例 [J]. 湖北大学学报(自然科学版), 2020, 42(5): 531-538.
- [11] 张玉臻,熊建华,叶剑平. 基于利益相关者视角的待复垦矿区土地再利用适宜性评价 [J]. 地理与地理信息科学, 2021, 37(1): 89-97.

- [12] 肖练练,刘青青,虞虎,等. 基于土地利用冲突识别的国家公园社区调控研究——以钱江源国家公园为例 [J]. 生态学报, 2020, 40(20): 7277-7286.
- [13] KIM H, SHIM K. Land Suitability Assessment for Apple (*Malus Domestica*) in the Republic of Korea Using Integrated Soil and Climate Information, MLCM, and AHP [J]. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 2018, 11(2): 139-144.
- [14] EVEREST T. Suitable Site Selection for Pistachio (*Pistacia Vera*) by Using GIS and Multi-Criteria Decision Analyses (a Case Study in Turkey) [J]. *Environment, Development and Sustainability*, 2021, 23(5): 7686-7705.
- [15] LIU Y L, TANG D W, KONG X S, et al. A Land-use Spatial Allocation Model Based on Modified Ant Colony Optimization [J]. *International Journal of Environmental Research*, 2014, 8(4): 1115-1126.
- [16] 方炫,刘德林,李壁成. 黄土高原乡级尺度土地利用适宜性评价——以宁南山区河川乡为例 [J]. 水土保持研究, 2014, 21(5): 174-178.
- [17] 王检萍,余敦,卢一乾,等. 基于“三生”适宜性的县域土地利用冲突识别与分析 [J]. 自然资源学报, 2021, 36(5): 1238-1251.
- [18] 王建英,邹利林,李梅淦. 基于“三生”适宜性的旅游度假区潜在土地利用冲突识别与治理 [J]. 农业工程学报, 2019, 35(24): 279-288, 328.
- [19] 苏亚艺,朱道林,曲衍波,等. 基于堆龙德庆县的生态脆弱区宜耕未利用土地开发适宜性综合评价 [J]. 中国土地科学, 2014, 28(7): 76-81, 97.
- [20] 刘德林,郝仕龙,李壁成. 黄土高原上黄试区土地利用适宜性评价 [J]. 水土保持通报, 2013, 33(3): 252-254, 317.
- [21] 罗玮祥,张廷玉. 基于 BP 神经网络的土地适宜性评价研究 [J]. 绿色科技, 2016(16): 232-234.
- [22] 储晓雷,李丹. 基于栅格尺度的土地利用适宜性评价研究 [J]. 测绘与空间地理信息, 2017, 40(8): 4-6, 9.
- [23] 何方永. 中国西部省域生态旅游发展潜力评价 [J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(4): 189-194.
- [24] 曲衍波,王世磊,赵丽莹,等. 山东省乡村地域多功能空间格局与分区调控 [J]. 农业工程学报, 2020, 36(13): 222-232.
- [25] 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.
- [26] 路昌,雷国平,周浩,等. 基于两维图论聚类法的东北地区土地利用分区研究 [J]. 农业机械学报, 2017, 48(12): 155-164.
- [27] 杨泓川,陈松林. 乡村振兴背景下镇域乡村性的空间分异及乡村发展策略——以福建省德化县为例 [J]. 中国农业资源与区划, 2021, 42(3): 23-32.
- [28] 陈瑞媛,廖和平,刘愿理,等. 滇西县域乡村地域多功能分类与乡村振兴路径研究 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2021, 43(6): 1-9.
- [29] 唐志鹏. 中国省域资源环境的投入产出效率评价 [J]. 地理研究, 2018, 37(8): 1515-1527.
- [30] 徐凯,房艳刚. 乡村地域多功能空间分异特征及类型识别——以辽宁省 78 个区县为例 [J]. 地理研究, 2019, 38(3): 482-495.
- [31] 唐一鸣. 国土空间规划分区方法研究——以上海市为例 [D]. 南京: 南京大学, 2019.
- [32] 周程明. 基于熵权 TOPSIS 法的城市旅游高质量发展评价研究——以广东省 21 个城市为例 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2021, 46(7): 58-66.
- [33] 孙小祥,秦艺娟. 基于 PSR 模型的城市土地集约利用评价研究——以苏州市为例 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2021, 43(4): 100-108.