

引用格式:陈红, 史云扬, 柯新利, 等. 生态与经济协调目标下的郑州市土地利用空间优化配置[J]. 资源科学, 2019, 41(4): 717-728. [Chen H, Shi Y Y, Ke X L, et al. Spatial optimization of land use based on the objective of coordinated ecological protection and economic development in Zhengzhou City[J]. Resources Science, 2019, 41(4): 717-728.] DOI: 10.18402/resci.2019.04.09

# 生态与经济协调目标下的郑州市土地利用空间优化配置

陈红<sup>1,2</sup>, 史云扬<sup>1,2</sup>, 柯新利<sup>3</sup>, 郝晋珉<sup>1,2</sup>, 陈爱琪<sup>1,2</sup>

(1. 中国农业大学土地科学与技术学院, 北京 100193;

2. 国土资源部农用地质量与监测重点实验室, 北京 100193;

3. 华中农业大学公共管理学院, 武汉 430070)

**摘要:**城镇化快速发展进程中建设用地占用生态用地的现象普遍存在, 如何协调经济发展与生态保护之间的矛盾成为目前中国土地利用所面临的主要难题。本文以郑州市为例, 借助LANDSCAPE模型, 开展生态与经济协调目标下土地利用空间优化配置。结果表明: ①在满足耕地保护和建设用地需求的前提下, 以2008年为基期, 模拟2020年土地利用布局时, 优化情景下比规划情景下土地利用空间布局的生态效益和经济效益分别提高0.3亿元和49亿元, 实现经济发展和生态保护相协调。②两种情景下的模拟结果显示, 建设用地配置向经济发展较快、生态效益较低的区域聚集。其中, 优化情景下建设用地配置较多的区县为荥阳市、新密市及登封市; 规划情景下建设用地配置较多的区县为金水区、惠济区、中牟县。优化情景下的建设用地布局更符合目前郑州市经济发展走向, 对区域生态保护更为有利。③LANDSCAPE模型在一定程度上可解决传统的城乡建设用地指标分配方法对土地利用生态效益与经济效益的空间异质性考虑不够等问题, 进而实现区域经济效益与生态保护的协调发展。

**关键词:**生态与经济协调; 土地利用; 空间优化配置; LANDSCAPE模型; 郑州市

DOI: 10.18402/resci.2019.04.09

## 1 引言

土地资源对人们日常生活活动具有重要意义<sup>[1]</sup>, 随着经济发展, 城镇化进程不断加快, 土地供需矛盾日益突出, 其中以建设用地最为明显, 出现乱占耕地、侵占林地、填湖造地等现象<sup>[2]</sup>。同时, 由于土地资源利用结构不合理, 造成一系列生态环境问题, 威胁着人类的生存和发展<sup>[3]</sup>。

针对目前中国土地资源利用存在的问题, 对有限土地资源进行优化配置成为当下研究热点<sup>[4-6]</sup>。调整土地利用结构和土地空间布局是土地资源优化配置的核心, 能有效地缓解土地利用中存在的问题<sup>[7]</sup>。早期土地资源优化配置研究从偏重于数量方

面的分配转向兼顾土地质量进行配置。近年来, 由于人们对生态环境重视程度的不断提高, 土地资源配置研究逐步转向基于数量、质量、生态“三位一体”的土地资源空间优化配置<sup>[8-10]</sup>; 并从主要集中于不同尺度的土地资源在部门间的分配, 逐渐转变为基于区域差异的土地资源空间优化配置研究<sup>[11,12]</sup>。土地的生态效益和经济效益具有空间异质性, 因而根据区域实际情况对土地资源进行优化配置有助于协调区域生态保护和经济发展之间的矛盾<sup>[13-19]</sup>。中国有关土地利用优化配置的模型、方法研究较多, 主要有线性规划模型<sup>[20]</sup>、系统动力学模型<sup>[21]</sup>、元胞自动机(CA)模型<sup>[22-25]</sup>、CLUE-S模型<sup>[26-28]</sup>、GIS/IF-

收稿日期: 2018-10-15, 修订日期: 2019-03-06

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2015BAD06B01)。

作者简介: 陈红, 女, 河南新蔡人, 硕士研究生, 从事土地利用规划、土地利用优化配置研究。E-mail: chenhong0812@cau.edu.cn

通讯作者: 郝晋珉, E-mail: jmhao@cau.edu.cn

MOP综合模型<sup>[29]</sup>、微粒群-马尔科夫复合模型<sup>[30]</sup>、多智能体遗传算法<sup>[31,32]</sup>、多目标粒子群算法<sup>[33,34]</sup>、多目标蚁群算法<sup>[35]</sup>、可持续发展思路与GIS空间可视化<sup>[36]</sup>、MCR模型与GIS空间叠置分析<sup>[37]</sup>等。通过对有关研究进行总结梳理,发现这些方法在进行土地利用优化布局模拟时,能兼顾区域经济发展和生态保护的研究较少。因此,迫切需要在协调经济效益和生态保护的基础上,综合考虑不同区域的差异,开展土地利用空间优化配置研究。

本文运用LANDSCAPE模型<sup>[38]</sup>对郑州市2020年土地利用空间布局进行预测,试图找到一种既能保护生态环境又能保证经济发展需求的土地利用空间优化方法,为有关部门更合理地分配土地利用指标提供理论和技术支持。

## 2 研究区域概况与数据来源

### 2.1 研究区域概况

郑州市是河南省省会,地处华北平原南部(112°42'E—114°14'E,34°16'N—34°58'N),包括金水、中原、二七、管城、惠济、上街等6区,荥阳、巩义、登封、新密、新郑等5个县级市,以及中牟县。本文将经济技术开发区、高新技术开发区、郑东新区、航空港经济区并入相应的区市(图1)。郑州市土地总面积756718 hm<sup>2</sup>,2017年末总人口988.1万人,城镇化率达72.2%,地区生产总值为9130.2亿元,其中第二、三产业增加值占比为98.3%。近年来,由于资源条件及主导产业的发展,新郑市、巩义市、新密市等区县经济发展较快,郑州市经济增长空间结构发生较大变化,各区县经济发展差距逐渐拉大<sup>[39]</sup>。经济快

速发展造成建设用地大规模扩张,导致大量的耕地、林地、草地、水体等生态用地被占用。郑州市人口众多、人流密集,如何确保在人口急剧增长和经济快速发展的双重压力下,加强对生态系统的保护,打造生态宜居城市,是郑州市社会经济发展和土地资源利用领域面临的重要挑战之一。

### 2.2 数据来源与处理

本文采用的数据包括郑州市土地利用数据、区位条件数据及社会经济统计数据。

#### 2.2.1 土地利用数据

土地利用数据包含郑州市2000年和2008年土地利用现状数据。2000年土地利用现状数据空间分辨率为30 m×30 m,来源于中国科学院资源与环境数据中心,2008年土地利用现状数据由中巴资源卫星解译得到,其空间分辨率为20 m×20 m。依据《土地利用现状分类》<sup>[40]</sup>及土地利用空间优化配置的需要将土地类型划分为耕地、林地、草地、河流、水体(包含未利用地)、城市建设用地、农村居民点用地七大类,本文所需的2008年各地类面积从土地利用现状图中提取。郑州市2016年土地利用变更调查数据来源于郑州市国土资源局。

#### 2.2.2 区位条件数据

区位条件数据包括郑州市高程数据、坡度数据、交通数据集及郑州市行政区图。其中高程数据是通过精度为90 m的SRTM DEM数据处理得到;坡度数据集由高程数据通过ArcGIS10.2处理得到;交通数据集由ArcGIS10.2处理得到,主要包括离各级城市中心距离、离铁路距离、离高速公路距离、离

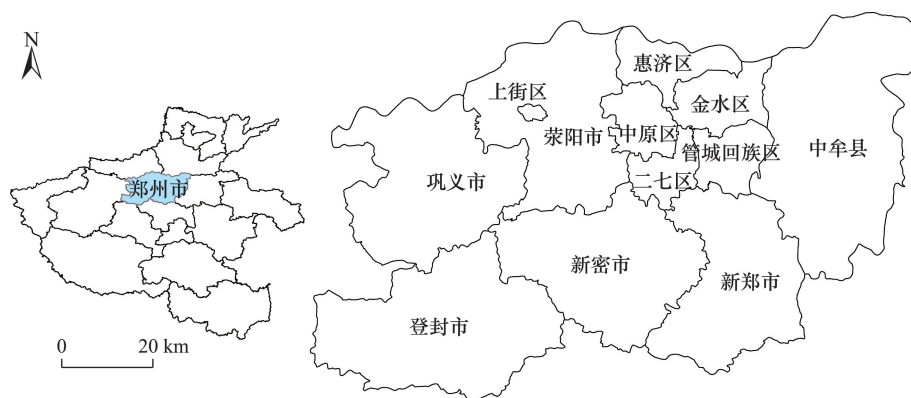


图1 研究区域

Figure 1 The study area

2019年4月

县道距离、离省级道路距离、离国道距离、离市区道路距离,以及离其他道路距离。

### 2.2.3 社会经济统计数据

郑州市及郑州市各区县2008年地均第二、三产业增加值数据来源于郑州市统计年鉴<sup>[41]</sup>;2020年城市建设用地、农村居民点用地和耕地面积指标,来源于郑州市国土资源局发布的《郑州市土地利用总体规划(2006—2020年)》<sup>[42]</sup>。

## 3 模型与方法

### 3.1 研究框架

郑州市生态与经济协调目标下土地利用空间优化配置研究基本思路为:以《郑州市土地利用总体规划(2006—2020年)》中各地类指标为规划情景模拟的基础,在各区县内进行配置;同时,为确保粮食安全,优化情景下耕地面积与原规划保持一致,其他地类则以参数的相关设置在整个市域内进行优化配置。在经济发展与生态保护的双重目标下,运用LANDSCAPE模型,开展郑州市土地利用空间优化配置。主要研究内容和流程为:①以郑州市2000年土地利用现状数据为基础,运用模型模拟郑州市2008年土地利用布局,并将模拟结果与2008年的土地利用现状进行比较,对模型进行校准。②

采用校准后模型模拟优化情景和规划情景下郑州市2020年土地利用空间布局,并对两者的生态效益和经济效益进行比较,分析两者差异。其中,优化情景是指郑州市各地类指标根据模型参数设置要求在全市范围内进行优化配置;规划情景是指各区县分配指标不变,在区县内部进行优化配置。③将两种情景下的模拟结果与2016年现状进行对比,同时对2008年以来郑州市经济发展规律进行统计分析,校验模型模拟结果的合理性与准确性,筛选出符合要求的模拟结果,并提出相应的土地利用空间规划措施建议(图2)。

### 3.2 LANDSCAPE模型

针对元胞自动机不能解释和模拟交互级联过程和土地利用变化之间的竞争,柯新利等<sup>[43]</sup>提出LANDSCAPE模型(LAND System Cellular Automata model for Potential Effects),LANDSCAPE模型具有解译和模拟交互级联过程及各地类之间转换的竞争的功能,本文运用该模型考虑各地类之间的转换概率,进而通过分层分配策略实现多分类土地系统变化的动态模拟与优化配置(图3)。

(1)分层分配策略。模型根据土地利用变化的主要驱动力,将土地利用类型分为主动型和被动型

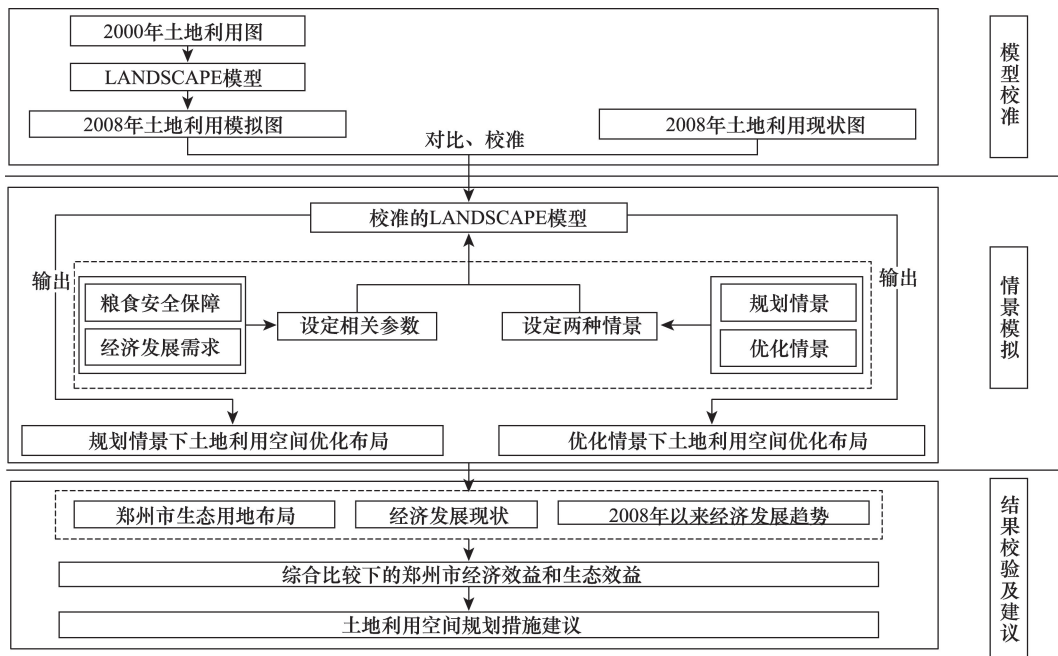


图2 研究框架

Figure 2 Flowchart of the study

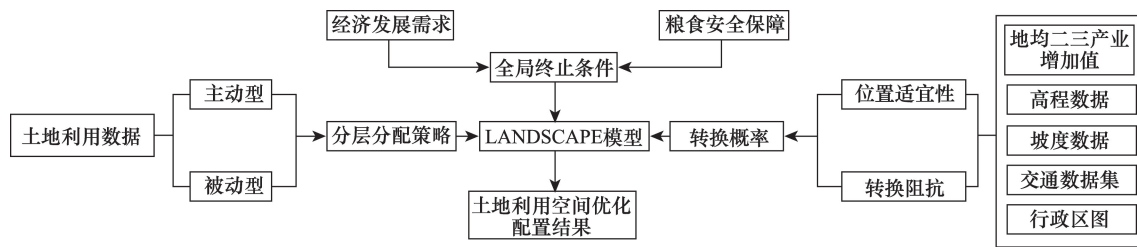


图3 模型运算基本框架

Figure 3 Modeling framework

地类,其中主动型地类的主要驱动者是人类<sup>[43]</sup>。模型通过各地类驱动力的不同,确定主动型地类的分布位置,主动型地类进而驱动被动型地类分布,并据此实现各地类的空间布局。

(2)转换概率。转换概率是由某种地类转化成其他地类时的适宜性和阻抗两部分组成,其中适宜性是某种地类转换成其他地类的驱动力,阻抗表示一种地类向其他地类转化时所受到的阻力,转换概率越大表示该种地类越宜向其他地类转化,其计算公式如下:

$$P_{ab} = S_{ab} - R_b \quad (1)$$

式中:  $P_{ab}$  为土地利用类型  $a$  转化成土地利用类型  $b$  的概率;  $S_{ab}$  是土地利用类型  $a$  转化成土地利用类型  $b$  的位置适宜性;  $R_b$  是土地类型  $b$  转化为其他土地类型的阻抗。  $S_{ab}$  的计算公式为:

$$S_{ab} = (1 \times (-\ln y)^\alpha) \times S_{fu} \times C_{ab} \times P_{ab} \quad (2)$$

式中:  $y$  为(0,1)范围内的随机数;  $\alpha$  为控制随机变量大小的参数,取值范围为1~10之间的整数;  $S_{fu}$  表示位置适宜性与地形坡度特征、交通区位等驱动力之间的关系。本文采用 *climentine* 软件进行空间数据挖掘,对土地利用数据进行采样处理,并运用处理结果训练 C5.0 决策树,为确保模型准确度,当决策树精度大于 75% 时训练方可结束,运用训练完成的决策树得到每个栅格的  $S_{fu}$  值,其代表每个栅格转化为其他地类的概率;  $C_{ab}$  表示每个元胞的约束值,其中 0 和 1 分别表示该元胞不发生转化和发生转化;  $P_{ab}$  表示邻域转换概率<sup>[44]</sup>。为保障生态系统功能稳定,优化中增加生态用地转化为城市建设用地或农村居民点用地的阻抗。

同时,为满足经济发展对建设用地的需求及保

障粮食安全、并遵循耕地占补平衡等土地保护政策,本文以经济发展所需要的建设用地面积及保障粮食安全所需的耕地面积作为协调发展的总目标。其中城乡建设用地面积依据土地利用总体规划的规划指标,城市建设用地和农村居民点用地面积分别为 108381.46  $\text{hm}^2$  和 48723.72  $\text{hm}^2$ 。为避免建设用地增长速率较高的区域过多占用建设用地总指标,根据区域经济发展实际状况,设置区域经济发展阈值;耕地面积以不少于总体规划规定的耕地指标,同时确保基本农田面积依规落实,但由于条件所限,在确保粮食安全时未考虑耕地质量和生态方面的差异。

### 3.3 优化布局参数设定

对模型相关参数进行设定,立足于加强区域生态保护。通过对原有阻抗进行调整,增加生态用地转化为建设用地的阻抗。由于城市建设用地和农村居民点用地生态系统服务功能贡献较低,故将其阻抗根据实际情况下调为原来的 90%。根据已有研究<sup>[36]</sup>,确定其他地类的阻抗公式为:

$$R'_u = R_u \times \left(1 + \frac{\text{ecology}_u - \text{ecology}_{\min}}{\text{ecology}_{\max} - \text{ecology}_{\min}}\right) \quad (3)$$

式中:  $R'_u$  为土地利用类型  $u$  调整后的阻抗;  $R_u$  表示土地利用类型的原阻抗;  $\text{ecology}_u$  是土地利用类型  $u$  的单位生态系统服务价值当量;  $\text{ecology}_{\max}$  代表土地利用类型单位生态系统服务当量的最大值,  $\text{ecology}_{\min}$  表示土地利用类型单位生态系统服务当量的最小值。本文中生态服务价值当量参考谢高地等<sup>[45]</sup>提出的中国土地利用生态系统服务价值当量值。对不同年份的各地类生态服务价值适当进行调整,同时依据 2016 年美元兑人民币的平均汇率 (1:6.6423) 对相关生态服务价值进行价格修正,得

2019年4月

出林地的生态系统服务价值为1.009万元/( $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ ),耕地的生态系统服务价值为0.283万元/( $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ ),草地的生态系统服务价值为0.419万元/( $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ ),水体的生态服务价值为1.627万元/( $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ )。

### 3.4 异步演化速率的获取

郑州市不同区县经济发展水平存在差异,导致对建设用地需求的紧迫程度及建设用地扩张对耕地保护的差异。柯新利等<sup>[46]</sup>运用经济发展区域差异得出建设用地需求优先度,进而得到建设用地需求优先度不同的区域所对应的演化速率。运用LANDSCAPE模型对郑州市土地资源进行空间优化配置时,在不影响区域粮食安全和区域相对均衡发展的条件下,允许建设用地需求紧迫度不同的区域具有不同的演化速率。通常,建设用地需求紧迫度越高对应的异步演化速率越快,反之越慢,进而提高土地利用效率。其中,选取地均第二、三产业增加值作为衡量区域经济发展的主要指标,计算出不同区县的异步演化速率。异步演化速率的值越大,表示其他地类转换为建设用地的速率越快,反之则越慢。郑州市与武汉市均属于中部地区,经济形态与发展规模较为相似。因此,本文在进行郑州市建设用地异步演化速率时直接引用柯新利等<sup>[5]</sup>有关速率的计算公式:

$$v_{ij} = \frac{value_{\max} - value_{ij}}{value_{\max} - value_{\min}} \times (v_{\max} - v_{\min}) + v_{\min} \quad (4)$$

式中: $v_{ij}$ 指( $i, j$ )区域的演化速率; $value_{ij}$ 是研究区域( $i, j$ )地均二、三产业增加值; $value_{\max}$ 和 $value_{\min}$ 表示整个研究区域地均二、三产业增加值的最大值和最小值。此外,由于LANDSCAPE模型没有速率的概念,只能表示演化间隔,因此需要将这里的异步演化速率转化为演化间隔,计算公式为:

$$interval_{ij} = \frac{1}{v_{ij}} \quad (5)$$

式中: $interval_{ij}$ 表示异步演化速率为 $v_{ij}$ 所对应的元胞演化间隔;演化间隔应不大于模型所能承受的最大值 $c_{\max}$  ( $c_{\max} \leq 20$ ),  $interval_{ij}$ 取值范围为 $[n, c_{\max}]$  ( $n=0, 1, 2, 3 \cdots 20$ )。

## 4 结果与分析

### 4.1 异步演化速率及演化间隔

建设用地演化速率能反映区域经济发展状况,

并影响区域建设用地指标的分配<sup>[46]</sup>。从表1可知,各区县建设用地演化速率不同,表明其经济发展具有较大差异。其中新郑市其他地类转换为建设用地的异步演化速率最高,其元胞演化间隔为1,即每次发生迭代过程中,这些区域都会发生演化;其次是荥阳市、巩义市、登封市和上街区,演化速率分别为0.945、0.797、0.657和0.522;管城区的建设用地优先度最低,建设用地演化间隔较大,将其设为模型所能接受的最大值20。此外,通过对郑州市各市(县)2008年以来的二、三产业增加值进行统计分析(图4),发现自2008年以来,郑州市经济发展迅速,但各区县经济发展增速不同。东部老城区(金水区、中原区、惠济区、管城区、二七区)主要以商贸、金融等现代服务业和房地产业为主,资源条件有限,经济发展遇到瓶颈,经济增长较缓;而以煤炭、铝土矿和耐火材料等为主的西部资源优势区(荥阳市、上街区、巩义市、登封市),经济增速较快;南部新郑市依托航空港经济区建设,近年经济发展迅速。因此,其建设用地演化速率与郑州市实际经济发展格局基本吻合。

### 4.2 模型精度及土地利用空间优化布局结果

本文运用荷兰学者Vliet等<sup>[47]</sup>提出的Kappa Simulation指数对模型的模拟精度行评估,该指数仅用于评估发生变化的元胞转换精度,避免混淆矩阵将大量未发生变化的元胞混入精度测算,因此可以借助Kappa Simulation指数对模型精度进行客观

表1 建设用地演化速率及演化间隔

行政辖区	异步演化速率	演化间隔
中原区	0.089	11
二七区	0.389	3
管城区	0.000	20
金水区	0.192	5
惠济区	0.096	10
上街区	0.522	2
荥阳市	0.945	1
中牟县	0.499	2
新郑市	1.000	1
巩义市	0.797	1
登封市	0.657	2
新密市	0.452	2

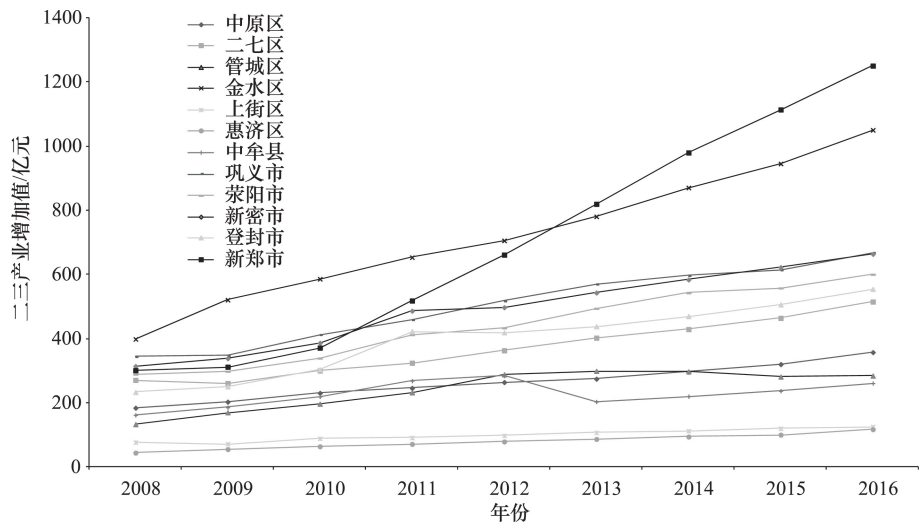


图4 2008—2016年郑州市第二、三产业增加值

Figure 4 Added value of secondary and tertiary industries of Zhengzhou City, 2008–2016

评价。在精度评估过程中,Kappa Simulation指数如大于0则表示模拟精度较高,反之则低。从表2中可以看出,LANDSCAPE模型在土地利用空间优化配置模拟过程中,Kappa Simulation指数均大于0,表明LANDSCAPE模型在模拟郑州市土地利用变化过程中精度较高。其中草地精度最低,为0.004,这是由于单块草地面积较小,不容易被LANDSCAPE模型识别;河流在短期内很难发生改变,因此在对数据进行处理时,运用ArcGIS10.2将郑州市2000年与2008年土地利用类型中的河流作合并处理,即令两期土地利用数据中的河流面积、形状均相同;同时,将模型中河流相关参数进行设定,故其模型精度为1。

运用校正后的LANDSCAPE模型模拟郑州市2020年土地利用空间布局,模型精度符合要求,空间布局结果如图5所示。从表3可得出,优化情景中林地和水体分别比规划情景增加1847 hm<sup>2</sup>和1709 hm<sup>2</sup>,其中林地主要分布在巩义市、新密市和登封市,水体主要分布在金水区、中牟县和惠济区;草

地减少3556 hm<sup>2</sup>,分布在巩义市、荥阳市、登封市和新密市;城乡建设用地中,荥阳市、登封市、新密市优化情景比规划情景多,金水区、二七区、惠济区等优化情景则比规划情景少;农村居民点面积未发生变化。通过对郑州市2016年土地利用变更调查数据进行分析,发现林地主要分布在巩义市、登封市、新密市,水体主要分布在金水区、中牟县和惠济区,与优化模拟结果相符,可见优化情景更符合区域生态保护要求;根据建设用地演化速率结果可知,荥阳市、登封市、新密市经济发展较快,而金水区、二七区、惠济区等经济发展速率较慢,因此优化情景下建设用地布局更符合区域经济发展趋势。

4.3 两种情景下的生态服务价值及经济效益

对两种情景下的生态服务价值和经济效益分别进行统计分析,其主要特点为:①在生态服务价值方面,优化情景土地利用空间布局中,林地和水体的面积均大于规划情景下的面积,草地面积则小于规划情景下的面积。通过计算,郑州市2020年优化情景下土地生态系统服务总价值为23.6亿元,规

表2 模型校准精度

Table 2 Model calibration accuracy

	耕地	林地	草地	河流	水体及未利用地	城市建设用地	农村居民点用地
总体精度	0.374	0.107	0.004	1	0.044	0.600	0.286
位置精度	0.562	0.582	0.063	1	0.443	0.633	0.486
数量精度	0.665	0.183	0.059	1	1.000	0.948	0.587

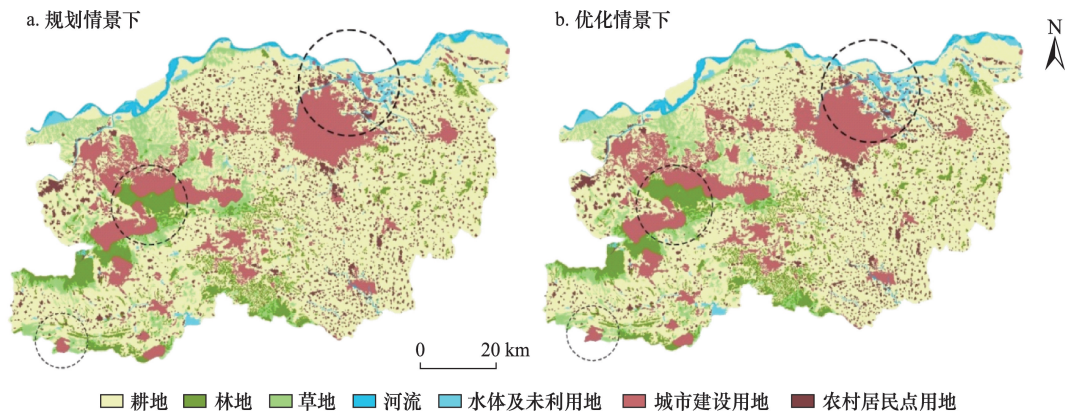


图5 2020年郑州市优化情景和规划情景下土地利用空间优化布局结果

Figure 5 Land-use spatial configurations of Zhengzhou City under the optimized scenario and the planning scenario, 2020

表3 优化情景与规划情景下区县各地类面积差值情况表

Table 3 Differences in the area of various land-use types of the districts and counties of Zhengzhou City under the optimized scenario and the planning scenario

	(hm <sup>2</sup> )											
	中原区	二七区	管城区	金水区	上街区	惠济区	中牟县	巩义市	荥阳市	新密市	新郑市	登封市
耕地	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
林地	29	16	7	0	0	0	15	1 334	32	268	14	132
草地	0	0	0	0	0	0	0	-1 248	-1 020	-559	0	-729
河流	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
水体	22	52	7	866	0	244	310	3	76	3	31	95
城市建设用地	-51	-68	-14	-866	0	-244	-325	-89	912	288	-45	502
农村居民点用地	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

注:差值=优化情景面积-规划情景面积。

划情景下土地生态系统服务总价值为23.3亿元,两者相差0.3亿元(表4)。为检验模型保护生态用地的合理性,对优化情景下多配置的林地、水体及少配置的草地进行空间分析发现,多配置的林地和水体主要分布在现有林地和水体资源区,即优化情景中建设用地配置时会对原有生态用地加以保护;少配置的草地主要作为建设用地的来源,主要原因有2个:一是草地分布在原有建设用地周围,建设用地往外扩张时易被优先占用;二是郑州市草地面积小且分散乱,没有形成一定规模,被建设用地占用

时对区域生态环境造成的影响较小,因此该模型对保护生态用地具有一定的合理性。②在经济效益方面,优化情景下经济效益比规划情景下提高49亿元,主要分布在荥阳市、新密市和登封市(表5)。原因在于,优化情景下建设用地多配置在西部经济发展较快的荥阳、登封、新密3市;而规划情景下建设用地多配置在经济放缓的东部(管城区、惠济区、中原区等)。同时,优化情景下2020年土地利用布局下第二、三产业增加值(11900亿元)高于2016年实际增加值(7960亿元)。通过对郑州市2008—

表4 优化情景与规划情景下生态服务价值对比表

Table 4 Difference of ecological service values under the optimized scenario and the planning scenario

土地利用类型	耕地	林地	草地	水体	总计
规划情景下指标/hm <sup>2</sup>	479 041	53 660	44 832	14 818	592 351
优化情景下指标/hm <sup>2</sup>	479 041	55 507	41 276	16 527	592 351
规划情景下价值/亿元	13.6	5.4	1.9	2.4	23.3
优化情景下价值/亿元	13.6	5.6	1.7	2.7	23.6

表5 优化情景与规划情景下经济效益对比表

Table 5 Difference of the economic benefits under the optimized scenario and the planning scenario

	$P/(\text{万元}/\text{hm}^2)$	$M_1/\text{hm}^2$	$M_2/\text{hm}^2$	$W_1/\text{亿元}$	$W_2/\text{亿元}$
中原区	504.34	9 024	9 075	455.12	457.69
二七区	1 279.82	3 965	4 033	507.45	516.15
管城区	487.44	8 317	8 331	405.40	406.09
金水区	919.94	12 702	13 568	1 168.51	1 248.18
上街区	1 165.41	1 310	1 310	152.67	152.67
惠济区	902.94	1 791	2 035	161.72	183.75
中牟县	1 068.30	3 571	3 896	381.49	416.21
巩义市	1 304.01	29 367	29 456	3 829.49	3 841.09
荥阳市	1 334.02	12 263	11 351	1 635.91	1 514.25
新密市	1 059.05	10 140	9 852	1 073.88	1 043.38
新郑市	1 471.31	3 804	3 849	559.69	566.31
登封市	1 264.34	12 203	11 701	1 542.87	1 479.40
总计	—	—	—	11 874.18	11 825.15
增量( $W_1-W_2$ )	—	—	—	49.03	

注:  $P$ 表示各区县地均第二、三产业增加值;  $M_1$ 表示优化情景下各区县城市建设用地面积;  $M_2$ 表示规划情景下各区县城市建设用地面积;  $W_1$ 表示优化情景下各区县2020年地均第二、三产业增加值;  $W_2$ 表示规划情景下各区县2020年地均第二、三产业增加值。

2016年第二、三产业增加值进行分析,得出郑州市近9年第二、三产业年增长率在8%~20%之间浮动;经计算,预测期末(2020年)郑州市第二、三产业增加值的年均增长率为12.3%,符合波动范围,在一定程度上证实该预测结果合理。

## 5 结论与讨论

### 5.1 结论

本文采用LANDSCAPE模型对郑州市土地利用空间进行优化配置,分别得到优化情景(市域尺度)和规划情景(县域尺度)下土地利用空间布局,对两种情景下的模拟结果与历年郑州市经济发展状况进行对比分析,检验模拟结果的合理性,进而得到以下结论:

(1)土地资源空间优化配置能实现经济发展与生态保护相协调。从模拟结果数值上看,优化情景的生态效益和经济效益均高于规划情景。其中,生态效益方面,优化情景比规划情景能减轻城镇扩张对林地和水体的侵占,最大限度保护区域生态环境;经济效益方面,在保障区域粮食安全和经济相对均衡发展的前提下,优化情景下建设用地倾向于向经济发展较快的区域配置,实现供给与需求相匹配,进而实现比规划情景更高区域经济效益。因此,该模型对郑州市各地类指标分配具有一定合理

性,对编制土地利用总体规划具有一定借鉴意义。

(2)本文的优化布局结果能在一定程度上保护区域生态环境并减轻土地利用细碎化现象。在保障经济发展和粮食安全需求的前提下,优化情景下生态系统服务价值比规划情景提高1.29%,区域生态环境效益相较于规划情景有所提升。同时,在模拟结果空间布局中相同地类布局呈一定的空间集聚性,在一定程度上有利于减轻土地利用的细碎化分布。

(3)运用LANDSCAPE模型,有助于解决传统城乡建设用地指标分配方法对土地利用生态效益与经济效益的空间异质性考虑不足的问题,实现区域经济发展与生态保护相协调。具体体现在:①将各地类生态系统服务价值参数化为模型中各类用地的转换阻抗,同时根据实际情况对城市建设用地和农村居民点用地阻抗进行调整,对区域生态环境保护具有重要意义;②能将建设用地演化速率转换成以演化间隔的形式呈现,进而将建设用地指标配置在经济发展较快、建设用地需求较高的区域;③模拟的空间布局结果,在协调生态保护与经济发展目标下,相同地类具有空间集聚效应,能在一定程度上减少土地利用的细碎化;④该模型能分别在市域和县域尺度下进行土地利用空间优化配置,模型

2019年4月

精度达90%以上,各地类的模型校准精度的Kappa Simulation指数均大于0,说明该模型在郑州市的适用性较好,今后可应用于乡(镇)、村级尺度进行探索研究。

## 5.2 讨论

运用LANDSCAPE模型,着眼于区县各地类用地指标的分配,构建一套基于协调生态保护与经济发展的土地资源空间优化配置方法,既可为土地利用空间优化配置提供科学依据,同时也可为下一轮土地利用总体规划各区县地类指标划定提供方法和思路。

(1)合理分配各地类指标,提升区域经济实力。由于区域产业布局发生变化,经济重心会发生转移,区域各地类指标分配应根据用地现状进行调整,做到建设用地指标“精准落地”,同时确保经济发展可持续,以提升整个区域经济实力为目标导向。

(2)优化各地类空间布局,保护区域生态环境。对指标进行规划落地时,应注重对生态用地的保护,对面积较大的林地、湖泊等生态用地应采取措施加以保护,合理安排各地类空间布局。同时,各地类之间应无缝衔接,尽量减少“空”、“白”地,避免出现土地细碎化现象,提高土地利用率。

(3)协调区域生态保护和经济发展关系,促进区域可持续发展。土地资源空间优化配置要从生态保护和经济发展方面统筹考虑,既要保证区域经济发展要求,又要满足生态保护需要。这就要求相关部门应充分了解区域经济发展动向及生态保护状况,在编制土地利用总体规划时充分考虑各方面因素,以协调生态保护和经济发展为宗旨。

当然,本文还存在以下方面不足:

一是采用生态价值服务当量评估土地利用生态效益,能在一定程度上将生态用地的服务价值定量化,但关于生态服务价值的量化方法较多,在未来的研究将运用多种计算方法对其量化,并将结果进行对比分析,使生态服务价值计算结果更加精准。

二是建设用地的需求及其所产生的效益受多种因素影响,本文仅采用地均第二、三产业增加值作为衡量区域建设用地演化速率,指标较为简单,在后续的研究中还应增加社会效益方面的指标进

行综合判断。同时,在今后的研究中需对经济发展的阈值参数设定更加精确,最大限度兼顾各市(县)均衡发展的需求。

## 参考文献(References):

- [1] 姚喜军, 吴全, 靳晓雯, 等. 内蒙古土地资源利用现状评述与可持续利用对策研究[J]. 干旱区资源与环境, 2018, 32(9): 76-83. [Yao X J, Wu Q, Jin X W, et al. The current situation of land resource utilization in Inner Mongolia and its sustainable utilization measures[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2018, 32(9): 76-83.]
- [2] 柯新利, 唐兰萍. 城市扩张与耕地保护耦合对陆地生态系统碳储量的影响: 以湖北省为例[J]. 生态学报, 2019, 39(2): 672-683. [Ke X L, Tang L P. Impact of cascading processes of urban expansion and cropland reclamation on the ecosystem of a carbon storage service in Hubei, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(2): 672-683.]
- [3] 方创琳, 周成虎, 顾朝林, 等. 特大城市群地区城镇化与生态环境交互耦合效应解析的理论框架及技术路径[J]. 地理学报, 2016, 71(4): 531-550. [Fang C L, Zhou C H, Gu C L, et al. Theoretical analysis of interactive coupled effects between urbanization and eco-environment in mega-urban agglomerations[J]. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(4): 531-550.]
- [4] 董捷, 杜林燕, 吴春彭, 等. 武汉城市圈土地资源优化配置研究[J]. 中国土地科学, 2011, 25(2): 41-46. [Dong J, Du L Y, Wu C P, et al. Study on optimal allocation of land resources in Wuhan Urban Agglomeration[J]. China Land Sciences, 2011, 25(2): 41-46.]
- [5] 柯新利, 孟芬, 马才学. 基于粮食安全与经济发展区域差异的土地资源优化配置: 以武汉城市圈为例[J]. 资源科学, 2014, 36(8): 1572-1578. [Ke X L, Meng F, Ma C X. Optimizing land resource allocation based on food security and regional difference in economic development: A case study in Wuhan Metropolitan[J]. Resources Science, 2014, 36(8): 1572-1578.]
- [6] 陈梅英, 郑荣宝, 王朝晖. 土地资源优化配置研究进展与展望[J]. 热带地理, 2009, 29(5): 466-471. [Chen M Y, Zheng R B, Wang C H. Review on optimal allocation of land resources[J]. Tropical Geography, 2009, 29(5): 466-471.]
- [7] 胡业翠, 刘彦随, 邓旭升. 土地利用/覆被变化与土地资源优化配置的相关分析[J]. 地理科学进展, 2004, 23(2): 51-57. [Hu Y C, Liu Y S, Deng X S. Relativity analysis on land use and land cover change and optimal allocation of land resources [J]. Progress in Geography, 2004, 23(2): 51-57.]
- [8] 褚丽华, 何传新. 农村土地整理与土地资源优化配置浅析[J]. 中国集体经济, 2011, (12): 8-9. [Chu L H, He C X. Analysis of land arrangement and optimization of land resources in rural areas[J]. China Collective Economy, 2011, (12): 8-9.]

- [9] 龚媛, 李飞雪, 王丽妍, 等. 耕地空间优化配置研究: 以常州市新北区为例[J]. 水土保持研究, 2016, 23(4): 199–205. [Gong Y, Li F X, Wang L Y, et al. Studies on spatial optimization allocation of cultivated land: Taking Xinbei District, Changzhou City as the example [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2016, 23(4): 199–205.]
- [10] 张超, 乔敏, 郑文聚, 等. 耕地数量、质量、生态三位一体综合监管体系研究[J]. 农业机械学报, 2017, 48(1): 1–6. [Zhang C, Qiao M, Yun W J, et al. Trinity comprehensive regulatory system about quantity, quality and ecology of cultivated land[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2017, 48(1): 1–6.]
- [11] 唐颖璐. 土地资源的空间尺度差异分析[J]. 价值工程, 2013, (14): 300–302. [Tang Y L. Analysis of the distribution allocation of land resources in different spatial scales[J]. Value Engineering, 2013, (14): 300–302.]
- [12] 王静, 邵晓梅. 土地节约集约利用技术方法研究: 现状、问题与趋势[J]. 地理科学进展, 2008, 27(3): 68–74. [Wang J, Shao X M. Methodologies of intensive land use research: Issues and trend[J]. Progress in Geography, 2008, 27(3): 68–74.]
- [13] 李宗礼, 夏军, 冯起, 等. 石羊河流域经济发展与生态保护对策[J]. 干旱区研究, 2009, 26(4): 460–467. [Li Z L, Xia J, Feng Q, et al. Study on the key measures for economic development and ecological conservation in the Shiyang River Basin[J]. Arid Zone Research, 2009, 26(4): 460–467.]
- [14] 田江. 贵州省农村经济效益与生态效益分析[J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38(2): 146–151. [Tian J. The rural economic and ecological benefit of Guizhou Province[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2017, 38(2): 146–151.]
- [15] 黄攸立. 基于可持续发展的生态建设问题与对策研究[J]. 生态经济, 2006, (1): 56–58. [Huang Y L. Study on problems and countermeasures of ecological construction based on sustainable development[J]. Ecological Economy, 2006, (1): 56–58.]
- [16] 胡业翠, 赵庚星. 农业可持续发展与土地资源优化配置[J]. 农业现代化研究, 2002, 23(2): 102–105. [Hu Y C, Zhao G X. Optimal allocation of land resources on the basis of sustainable development [J]. Research of Agricultural Modernization, 2002, 23(2): 102–105.]
- [17] 肖长江, 欧名豪, 李鑫. 基于生态-经济比较优势视角的建设用地空间优化配置研究: 以扬州市为例[J]. 生态学报, 2015, 35(3): 696–708. [Xiao C J, Ou M H, Li X. Research on spatial optimum allocation of construction land in an eco-economic comparative advantage perspective: A case study of Yangzhou City[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(3): 696–708.]
- [18] 魏趁. 生态经济建设的哲学基础与发展路径[J]. 理论与改革, 2016, (3): 174–178. [Wei C. Philosophical basis and development path of ecological economic construction[J]. Theory and Reform, 2016, (3): 174–178.]
- [19] 谢鹏飞, 赵筱青, 张龙飞. 土地利用空间优化配置研究进展[J]. 山东农业科学, 2015, 47(3): 138–143. [Xie P F, Zhao X Q, Zhang L F. Research progress of spatial optimization allocation of land use[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2015, 47(3): 138–143.]
- [20] 刘彦随. 区域土地利用优化配置[M]. 北京: 学苑出版社, 1999. [Liu Y S. Regional Land Optimization Allocation[M]. Beijing: Xueyuan Publishing House, 1999.]
- [21] 赵庚星, 王人潮, 尚建业. 黄河三角洲垦利县土地利用的系统动力学仿真模拟研究[J]. 浙江农业大学学报, 1998, 24(2): 33–36. [Zhao G X, Wang R C, Shang J Y. Study on land use system dynamics simulation of Kenli County, Yellow River delta[J]. Journal of Zhejiang Agricultural University, 1998, 24(2): 141–147.]
- [22] 赵莉, 杨俊, 李闯, 等. 地理元胞自动机模型研究进展[J]. 地理科学, 2016, 36(8): 1190–1196. [Zhao L, Yang J, Li C, et al. Progress on geographic cellular automata model[J]. Scientia Geographica Sinica, 2016, 36(8): 1190–1196.]
- [23] 杨俊, 解鹏, 席建超, 等. 基于元胞自动机模型的土地利用变化模拟: 以大连经济技术开发区为例[J]. 地理学报, 2015, 70(3): 461–475. [Yang J, Jie P, Xi J C, et al. LUC simulation based on the cellular automata simulation: A case study of Dalian economic and technological development zone[J]. Acta Geographica Sinica, 2015, 70(3): 461–475.]
- [24] 柯新利, 邓祥征, 何书金. 地理元胞自动机模型的尺度敏感性及其原因[J]. 地理研究, 2010, 29(5): 863–872. [Ke X L, Deng X Z, He S J. Scale sensitivity and its causality for geo-cellular automata modelling[J]. Geographical Research, 2010, 29(5): 863–872.]
- [25] 王汉花, 刘艳芳. 基于生态位与约束CA的土地资源优化配置模型研究: 以武汉市黄陂区为例[J]. 中国人口·资源与环境, 2008, 18(2): 97–102. [Wang H H, Liu Y F. Research on optimal allocation model of land resource based on Niche and CA: The case of Huangpo[J]. China Population Resources and Environment, 2008, 18(2): 97–102.]
- [26] 李鑫, 马晓冬, 肖长江, 等. 基于CLUE-S模型的区域土地利用布局优化[J]. 经济地理, 2015, 35(1): 162–167. [Li X, Ma X D, Xiao C J, et al. The regional land use layout optimization based on the CLUE-S model[J]. Economic Geography, 2015, 35(1): 162–167.]
- [27] 许月卿, 罗鼎, 郭洪峰, 等. 基于CLUE-S模型的土地利用空间布局多情景模拟研究: 以甘肃省榆中县为例[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2013, 49(3): 523–529. [Xu Y Q, Luo D, Guo H F, et al. Multi-simulation of spatial distribution of land use based on CLUE-S model: A case study of Yuzhong County, Gansu Province [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2013, 49(3): 523–529.]
- [28] 戴声佩, 张勃. 基于CLUE-S模型的黑河中游土地利用情景模拟研究: 以张掖市甘州区为例[J]. 自然资源学报, 2013, 28(2): 336–348. [Dai S P, Zhang B. Land use change scenarios simulation in the middle reaches of the Heihe River Basin based on CLUE-S model: A case of Ganzhou District of Zhangye City[J]. Journal of Natural Resources, 2013, 28(2): 336–348.]

2019年4月

- [29] 陈永林, 谢炳庚, 钟典, 等. 基于微粒群-马尔科夫复合模型的生态空间预测模拟: 以长株潭城市群为例[J]. 生态学报, 2018, 38(1): 55-64. [Chen Y L, Xie B G, Zhong D, et al. Predictive simulation of ecological space based on a particle swarm optimization-Markov composite model: A case study for Chang-Zhu-Tan urban agglomerations[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(1): 55-64.]
- [30] Wang X H, Yu S, Huang G H. Land allocation based on integrated GIS optimization modeling at a watershed level[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2004, 66(2): 61-74.
- [31] 袁满, 刘耀林. 基于多智能体遗传算法的土地利用优化配置[J]. 农业工程学报, 2014, 30(1): 191-199. [Yuan M, Liu Y L. Land use optimization allocation based on multi-agent genetic algorithm [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014, 30(1): 191-199.]
- [32] 张鸿辉, 曾永年, 谭荣, 等. 多智能体区域土地利用优化配置模型及其应用[J]. 地理学报, 2011, 66(7): 972-984. [Zhang H H, Zeng Y N, Tan R, et al. A Model for regional land use optimization allocation based on multi-agent system and its application[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(7): 972-984.]
- [33] 王晨羽, 郭小燕. 基于多目标粒子群算法的土地优化配置: 以兰州市七里河区为例[J]. 农业网络信息, 2016, (3): 34-39. [Wang C Y, Guo X Y. The optimal land allocation based on multi-objective particle swarm optimization algorithm: The case of Qilihe district in Lanzhou[J]. *Agricultural Network Information*, 2016, (3): 34-39.]
- [34] 黄海. 基于改进粒子群算法的低碳型土地利用结构优化: 以重庆市为例[J]. 土壤通报, 2014, 45(2): 303-306. [Huang H. Optimization of low-carbon land use structure based on improved particle swarm optimization algorithm: A case study in Chongqing municipality[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2014, 45(2): 303-306.]
- [35] 莫致良, 杜震洪, 张丰, 等. 基于可扩展多目标蚁群算法的土地利用优化配置[J]. 浙江大学学报(理学版), 2017, 44(6): 649-659. [Mo Z L, Du Z H, Zhang F, et al. Land use optimizing allocation based on extensible multiojective ant colony algorithm[J]. *Journal of Zhejiang University (Science Edition)*, 2017, 44(6): 649-659.]
- [36] 罗格平, 张百平. 干旱区可持续土地利用模式分析: 以天山北坡为例[J]. 地理学报, 2006, 61(11): 1160-1170. [Luo G P, Zhang B P. Sustainable land use models for arid lands: A case study of the northern Tianshan mountain areas[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(11): 1160-1170.]
- [37] 刘孝富, 舒俭民, 张林波. 最小累积阻力模型在城市土地生态适宜性评价中的应用: 以厦门为例[J]. 生态学报, 2010, 30(2): 421-428. [Liu X F, Shu J M, Zhang L B. Research on applying minimal cumulative resistance model in urban land ecological suitability assessment: As an example of Xiamen City[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(2): 421-428.]
- [38] Ke X L, Zheng W W, Zhou T, et al. A CA-based land system change model: LANDSCAPE[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2017, 31(9): 1798-1817.
- [39] 黄珺嫦. 郑州市经济空间结构演变及其经济溢出效应[J]. 河南农业大学学报, 2015, 49(4): 533-539. [Huang J C. The evolution of spatial economic structure and its spillover effects regional economic growth in Zhengzhou[J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 2015, 49(4): 533-539.]
- [40] 质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. 土地利用现状分类[EB/OL]. (2017-11-01)[2018-10-10]. [http://www.360doc.com/content/18/0123/20/45453950\\_724528144.shtml](http://www.360doc.com/content/18/0123/20/45453950_724528144.shtml). [State Administration for Market Regulation, Standardization Administration. Classification of Land Use Status[EB/OL]. (2017-11-01)[2018-10-10]. [http://www.360doc.com/content/18/0123/20/45453950\\_724528144.shtml](http://www.360doc.com/content/18/0123/20/45453950_724528144.shtml).]
- [41] 郑州市统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2008. [Zhengzhou Bureau of Statistics. China Statistical Yearbook [M]. Beijing: China Statistics Press, 2008.]
- [42] 郑州市国土资源局. 郑州市土地利用总体规划(2006-2020年)[EB/OL]. (2010-12-22)[2010-12-22]. <http://zzland.zhengzhou.gov.cn/tdlygh/595992.jhtml>. [Land and Resources Bureau of Zhengzhou City. Zhengzhou City Land Use Master Plan (2006-2020) [EB/OL]. (2010-12-22)[2010-12-22]. <http://zzland.zhengzhou.gov.cn/tdlygh/595992.jhtml>.]
- [43] 柯新利, 郑伟伟, 杨柏寒. 权衡城市扩张、耕地保护与生态保育的土地利用布局优化: 以武汉市为例[J]. 地理与地理信息科学, 2016, 32(5): 9-13. [Ke X L, Zheng W W, Yang B H. Optimizing of land allocation for synergy of urban expansion, cultivated land protection and ecosystem conservation: A case study of Wuhan[J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2016, 32(5): 9-13.]
- [44] Ke X L, Qi L Y, Zeng C. A partitioned and asynchronous cellular automata model for urban growth simulation[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2016, 30(4): 637-659.
- [45] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J]. 自然资源学报, 2008, 23(5): 911-919. [Xie G D, Zhen L, Lu C X, et al. Expert knowledge based valuation method of ecosystem services in China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2008, 23(5): 911-919.]
- [46] 柯新利, 杨柏寒, 刘适, 等. 基于土地利用效率区域差异的建设用地区际优化配置: 以武汉城市圈为例[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(11): 1502-1509. [Ke X L, Yang B H, Liu S, et al. Optimization of interregional built-up land allocation based on differences of land use efficiency: A case study of Wuhan Metropolitan [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2014, 23(11): 1502-1509.]
- [47] Vliet J V, Bregt A K, Hagen-Zanker A. Revisiting Kappa to account for change in the accuracy assessment of land-use change models[J]. *Ecological Modelling*, 2011, 222(18): 1367-1375.

# Spatial optimization of land use based on the objective of coordinated ecological protection and economic development in Zhengzhou City

CHEN Hong<sup>1,2</sup>, SHI Yunyang<sup>1,2</sup>, KE Xinli<sup>3</sup>, HAO Jinmin<sup>1,2</sup>, CHEN Aiqi<sup>1,2</sup>

(1. College of Land Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. Key Laboratory for Agricultural Land Quality Monitoring and Control, Ministry of Land and Resources, Beijing 100193, China;

3. College of Public Administration, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** Ecological land being converted into construction land is ubiquitous under the background of rapid urbanization in China, and coordinating economic development and ecological protection is a great challenge for the country. This study took Zhengzhou City as an example and carried out the spatial optimization of land use with the balance between ecological benefits and economic benefits as the objective, and by using the LANDSCAPE model. The results suggest that: (1) Using 2008 as the benchmark year and simulating the land-use layout in 2020 and with the requirements of cultivated land protection and meeting construction land demand both satisfied, the optimized scenario's ecological and economic benefits are 31.5 million yuan and 4,900 million yuan higher than the planning scenario. The former can achieve the coordination of economic development and ecological protection; (2) The simulation results under the two scenarios show that the construction land allocation is concentrated in areas with faster economic development and lower ecological benefits. Under the optimized scenario, more construction land is allocated to Xingyang City, Xinmi City, and Dengfeng City. Under the planning scenario, more construction land is allocated to Jinshui District, Huiji District and Zhongmu County because of the already fixed quota. The optimized allocation is more in line with the current economic development trend of Zhengzhou City, better for regional ecological protection, and can alleviate the fragmentation of land use to a certain extent; (3) The problem that the traditional method of urban and rural construction land allocation does not take into account the spatial heterogeneity of ecological and economic benefits can be solved by the LANDSCAPE model, in which the goal of economic and ecological benefits coordination can be achieved. Ecological protection and economic development play an important role in regional sustainable development, and it is beneficial to coordinate the relationship between them by allocating the different types of land use in various regions reasonably.

**Key words:** ecological protection and economic development coordination; spatial optimization; land use; LANDSCAPE model; Zhengzhou City