

基于 CLUE-S 模型的矿业城市土地利用格局情景模拟

张博¹, 雷国平¹, 周浩², 王蕊¹, 董博文¹, 张旭¹

(1. 东北农业大学 资源与环境学院, 哈尔滨 150030; 2. 东北大学 土地管理研究所, 沈阳 110004)

摘要:运用 CLUE-S 模型对典型矿业城市——双鸭山市辖区进行未来土地利用模拟, 基于遥感和地理信息系统技术, 通过设定趋势发展、耕地保护、经济建设和生态保护 4 种情景, 模拟了 2025 年当地不同情景下土地利用变化情况, 结果表明: 各土地利用类型均通过 ROC 检验, 回归方程拟合程度高。1995 年和 2005 年模拟正确比例分别为 88.15% 和 92.10%, Kappa 系数均超过 0.75, 准确率达到可信的效果。各情景土地利用模拟结果差异明显, 在趋势发展下, 耕地和其他用地面积持续较少, 建设用地增长幅度最大; 耕地保护情景下, 耕地仍保持下降态势, 但速度明显下降, 建设用地和工矿用地的扩张趋势有所抑制; 经济发展情景下, 建设用地面积增长速度显著上升, 将大量侵占其周边的耕地和园林地, 工矿用地面积增长幅度最大; 生态保护情景下, 耕地、其他用地和工矿用地面积以不同程度趋势下降, 园林地和水域用地面积显著增加。研究结果为当地相关规划的合理编制及土地资源保护提供了参考依据。

关键词: CLUE-S; 矿业城市; 土地利用; 情景模拟; 双鸭山市

中图分类号: F301.24

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2016)05-0261-06

Scenario Simulation of Land Use in Mining City Based on CLUE-S Model

ZHANG Bo¹, LEI Guoping¹, ZHOU Hao², WANG Rui¹, DONG Bowen¹, ZHANG Xu¹

(1. College of Resources and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; 2. Land Management Institute, Northeastern University, Shenyang 110004, China)

Abstract: CLUE-S model was used to simulate the land use of a typical mining city, Shuangyashan City, in the future based on remote sensing and geographic information system technology, and to simulate the changes of land use in different contexts during the year of 2025 by setting 4 kinds of scenarios: natural development, cultivated land protection, economic development and ecological protection. The result showed that the various land use types had passed the ROC test, and the degree of regression equation fitted by data was high. In 1995 and 2005, the correct proportions in simulation were 88.15% and 92.10%, respectively, and Kappa coefficient was more than 0.75, what's more, the rate of accuracy reached to the credible effect. The simulation results of land use were obviously different under each situation. With the trend of development, cultivated land and other lands were decreasing and the increase of construction land was highest; in the scenario of cultivated land protection, the area of cultivated land still keeps dropping, but the speed of dropping is significantly lower than before, the expansions of construction land and mining land were restrained; with economic development, the growth rate of construction land increased dramatically, which occupied the area of its surrounding cultivated land and garden land, the increase of mining land was highest; with respect to ecological protection, the area of cultivated land, else land and mining land decreased in different degrees, the area of garden land and water area enlarged significantly. The results can provide reasonable references for preparation of local planning and protection of the land resources.

Keywords: CLUE-S; mining city; land use; scenarios simulation; Shuangyashan City

土地利用/覆被变化(LUCC)既是一个非常复杂的过程,也是人类活动对自然环境施加影响的显著表现形式,它同时受自然、社会经济等复杂因素的综合

影响^[1-2]。LUCC 研究主要体现在变化过程、驱动机制、动态规律、模型模拟、土地可持续利用和生态效益等方面^[3-8],其中,土地利用模型的模拟预测是实现

收稿日期:2015-10-10

修回日期:2015-11-15

资助项目:黑国土科研“两大平原现代农业综合配套改革试验区土地管理制度创新”(201411)

第一作者:张博(1991—),女,黑龙江双鸭山人,硕士,研究方向为土地利用与规划。E-mail: xiaobo161171@163.com

通信作者:雷国平(1963—),男,黑龙江青冈人,教授,博士生导师,主要从事土地利用规划与土地管理研究。E-mail: guopinglei@126.com

LUCC研究目的的一个重要环节,是未来土地利用科学决策的基本依据^[9]。

众多学者针对不同国家和地区特点,进行了一系列土地利用模型模拟研究,主要包括CA, CLUE-S, ABM, IMAGE和DLS等^[10-14]。其中,CLUE-S作为经验统计模型的代表,是一种动态的、多尺度土地利用空间布局模拟模型,其能综合考虑社会、经济、政策及自然环境等驱动因子对土地利用格局的影响,是一种比较理想的土地利用/覆被变化模型^[15]。通过不同时空尺度上的土地利用变化模拟预判,并对不同情景方案下土地利用分布格局进行有效模拟,进而为相关规划编制和决策提供科学的理论依据。

矿业城市是指在开发利用能源、矿产资源基础上兴起的,以消费一定数量的自然资源而赖以生存发展的一种特殊城市类型,具有强烈的资源依托性^[16]。由于矿产资源不可再生性,对矿产资源的常年开采将导致其逐步耗竭,相对于一般城市而言,矿业城市具有生命周期较短、土地利用变化相对较为剧烈、限制性利用程度强等特点。双鸭山市是黑龙江省主要的煤矿输出基地,其市辖区作为该地区主要的煤矿集中带,具有重要的战略意义。近年来,随着该地区矿产资源的逐渐开发殆尽,产业结构亟待面临转型,土地利用矛盾日益突出^[7],在建设黑龙江省“两大平原”“现代农业综合改革配套试验区”战略背景下,如何科学合理地进行地区土地利用结构规划布局是未来该地区经济持续发展的关键性因素。本文基于遥感和地理信息系统技术,尝试运用CLUE-S模型,结合地区特点综合考虑土地利用变化驱动因素,通过设置不同发展情景模拟未来土地利用变化情况,为当地相关规划的合理编制及土地资源保护提供参考依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

双鸭山市位于黑龙江省东北部,地理范围为 $130^{\circ}54'$ — $131^{\circ}46'E$, $46^{\circ}20'$ — $46^{\circ}46'N$,与俄罗斯隔乌苏里江相望,与佳木斯、七台河、鸡西等城市相毗邻。地区平均海拔35.3 m,多为丘陵半丘陵和平原地形,属寒温带大陆性季风气候,夏季高温多雨,冬季寒冷漫长。截至2014年,全市共辖4个市辖区、4个县(集贤县、友谊县、宝清县和饶河县),总面积约22 483 km²,人口151万。作为我国重要的煤矿基地,双鸭山市煤炭储量位居黑龙江省第1位。

本文选取双鸭山市辖区作为研究对象,该地区包括尖山区、四方台区、宝山区和岭东区四区,为国家第3批资源转型试点城市。作为双鸭山地区矿产资源集中带,近年来该地区矿产资源逐渐面临枯竭,产业

结构亟待转型,土地利用变化相对强烈,研究该地区土地利用变化问题具有较为现实的意义。

1.2 数据采集

土地利用数据原始信息源来自美国陆地资源卫星1995年、2005年、2014年Landsat TM/OLI多光谱遥感影像,经几何纠正及RGB假彩色的合成。参照全国土地利用分类体系并结合地区土地利用现状和研究目标,确定土地利用类型为耕地、园林地、水域、建设用地、工矿用地和其他用地6大类。根据影像色调、纹理等特征进行人工目视解译,将所得数据查错、修改和拼接后获得3期土地利用矢量数据(附图16),其中精度验证采用Google Earth软件配合进行,通过采样比对确定最终解译数据精度,结果显示3期解译精度均超过85%;高程及坡度数据源来自SRTM的DEM数据,精度为90 m,对处理后的DEM数据进行坡度提取。其他数据包括地形图、交通图、居民点分布图和相关县、市经济社会统计资料。研究中各图件经投影变换统一转为Albers双标准纬线等积投影。

1.3 CLUE-S模型

CLUE-S模型是荷兰瓦赫宁根大学Verburg等^[17]在CLUE模型基础上开发的高分辨率土地利用空间分配模型,该模型兼顾土地利用变化中社会经济、自然条件和政策等驱动因子影响,能够在空间上直观反映土地利用变化过程和结果,具有高可信度和变化解释能力强等特点^[18]。

CLUE-S模型的假设条件是一个地区的土地利用变化受该地区的土地利用需求驱动因素影响,并且其空间分布格局总是和土地需求以及该地区的自然环境和社会经济状况处在动态平衡之中,该模型由两个主要模块组成,即非空间需求模块和空间分配模块。非空间需求模块通过对人口、社会经济等因素综合分析,利用外部模型计算得到各土地利用类型逐年变化量,将其作为模型的输入参数,基于栅格系统的空间单元实现各类型土地利用数量的空间分配;空间模块是基于各驱动因素计算单个空间单元(栅格)分布概率,通过综合分析土地利用空间分布概率适宜图、土地利用转换规则和分布现状图基础上,依据总概率大小实现土地利用需求数量的空间分配,从而实现土地利用格局模拟。

1.4 模型数据和参数设置

1.4.1 数据处理 基于1995年、2005年、2014年研究区3期遥感影像数据,经人工目视解译后获得精度较高的对应时间点土地利用矢量数据,由于数据格式差异CLUE-S模型难以直接调用该类型数据,研究利

用 ArcGIS 9.3 将其转化为统一单元大小的栅格数据,并分别将其保存为模型可以调用的对应年份 ASC II 格式的 cov_all.0 文件;对基期土地利用数据分别进行单一土地利用类型提取并单独成层,该类用地属性赋值 1,其他区域赋值 0,并分别保存为并分别转为 cov_*.0 文件(* 分别代表土地利用类型代码)。

直接或间接土地利用变化驱动因子都有可能成为土地利用变化不稳定的根源,研究根据土地利用特点、CLUE-S模型的因子需求和研究目的,从距离、自然、社会经济和矿产资源选取驱动因子,即距离居民点距离、距离河流距离、距离采矿区距离、距离铁路公路距离、距离城市建成区距离、海拔、坡度、煤矿产量、矿业从业人员比例和人均矿区面积共 10 个驱动因子。分别把这些驱动因子制成模型可以调用的 ASCII 格式的 scl_gr*.fil 文件,对于距离驱动因子,利用 ArcGIS 9.3 将其按 200 m 进行等间距分类并生成最终的距离驱动力空间分布图。为消除矿产相关因子的空间尺度差异,以工矿用地斑块大小作为因子量化的核心要素,通过对各斑块因子的均摊处理,利用 ArcGIS 9.3 的 Kriging 空间插值功能实现因子的二次分类处理。

1.4.2 模型模拟 模型完成空间分析由 4 个条件完成,即空间政策与限制区域、土地利用类型转化规则、土地利用类型面积需求和土地利用类型空间分布概率。

空间政策与限制区域是指在研究期内,土地利用类型不会发生改变的区域。限制区域可分为区域性限制区和政府性限制区,运用时可根据不同政策导向和实际情况设置限制性区域。研究将基本农田保护区和风景名胜保护区设定为限制区域。限制区域文件中主要包括 3 种数值:0 代表可以发生土地利用转化的区域;−9 999 代表不属于研究范围的区域;−9 998 代表不可以发生土地利用转化的区域。限制区域文件需在范围和栅格大小上与底图一致,研究将其制成 ASC II 格式的 region_park*.fil 文件。

土地利用类型转化规则主要包括土地利用弹性以及土地利用转换次序两部分。土地利用弹性(ELAS)反映土地利用类型转化的稳定性,受转化可逆性影响,利用程度高的用地类型难以向利用程度低的发生转化,如建设用地难以转换为耕地。反之则利用程度低的用地类型容易向利用程度高的发生转化。ELAS 值范围为 0~1,该值越接近 0,其转化可能性就越大。土地利用转换次序是通过一个各土地利用类型之间的转移矩阵来设定各土地利用类型之间能否发生转化,该矩阵由 0,1 两个数字组成,其中 0 表示不能转化,1 则表示可以发生转化。研究共设置生态保护情景、耕地保护情景、经济建设情景和趋势发展情景 4

个情景,考虑不同的情景目标,结合研究区土地利用特点,设定不同的转换系数(表 1)和转移矩阵。

表 1 不同情景下土地利用转移弹性系数

情景 目标	耕地	园林 地	水域	其他 用地	建设 用地	采矿 用地
生态保护	0.2	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7
耕地保护	0.7	0.5	0.4	0.4	0.7	0.6
经济建设	0.2	0.3	0.4	0.3	0.8	0.6
趋势发展	0.6	0.5	0.5	0.4	0.8	0.6

土地利用需求量是在独立于模型的非空间分析模块中完成,它可通过外部模型被计算或估算出来,用以限定模拟过程中总的土地利用变化量。考虑到未来情景模拟进行前需进行时间尺度的确定,研究分别以 2005 年、2014 年的土地利用数据作为模拟的需求数据,假设 1995—2005 年和 1995—2014 年的各土地利用类型保持匀速变化,内插出各对应时间段内土地需求数据。

土地利用空间分布概率体现为土地利用类型转变发生可能性在空间上的分布概率,即各种土地利用类型的空间分布适宜性,在 CLUE-S 模型中,基于土地分布现状数据和变化驱动因子,运用二元 Logistic 逐步回归方法,对研究区域各地类分布变化的因子进行分析,其回归方程如下:

$$\log\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right)=\beta_0+\beta_1x_{1i}+\beta_2x_{2i}+\cdots+\beta_mx_{mi} \quad (1)$$

式中: P_i 表示栅格单元中某一土地利用类型 i 出现的概率; $x_{1i},x_{2i},\cdots,x_{mi}$ 为驱动因子,如距离因素、地形条件、社会经济因素等; $\beta_1,\beta_2,\cdots,\beta_m$ 表示回归方程中土地利用类型与驱动因子之间的解释变量系数,即相关度; β_0 表示回归方程常量。

Logistic 回归方程的拟合度可采用 β 系数与 ROC 曲线进行检验,根据曲线下的面积大小可检验概率分布格局与实际地类空间分布之间是否存在较高的一致性,该值一般介于 0.5~1,值越接近于 1,说明回归方程对地类分布的解释意义越好;反之,若该值越接近 0.5,说明回归方程对地类分布的解释意义越低。通常,当 ROC 大于 0.7 时,可以认为所选取的驱动因素具有较好的解释能力。

2 结果与分析

2.1 Logistic 回归检验

Logistic 回归结果显示,选取的 10 个解释因子能够较好地解释研究区土地利用变化情况,其中耕地主要与矿业从业人员相对比例、距居民点距离等因子相关,园林地和水域用地主要与海拔坡度因子状况相关,其中坡度因子 β 值达到 0.165 23,建设用地主要

与矿业从业人员比例、坡度和距居民点距离相关性
强,而针对工矿用地,其最主要的影响驱动因素包括

人均矿区面积、距采矿区距离和距主干道路距离,该
情况与实际情形较为符合。

表 2 各土地利用类型的 Logistic 逐步回归结果(β 值)

驱动因子	耕地	园林地	水域	其他	建设用地	采矿用地
距居民点距离	−0.02984	0.00035	—	—	−0.01561	—
距河流距离	0.00827	−0.00011	—	0.01414	−0.01204	—
距采矿区距离	0.00425	—	−0.01792	0.01187	—	−0.31953
距主干道路距离	—	−0.00006	0.02425	−0.01912	−0.00944	−0.01362
距城市建成区距离	0.00164	0.00008	−0.00713	—	−0.06670	—
海拔	−0.01384	0.03029	−0.02090	−0.01237	−0.00719	—
坡度	−0.10134	0.16523	−0.13355	—	−0.12504	—
煤矿产量	−0.00712	—	0.00683	−0.03462	0.00238	0.20361
矿业从业人员相对比例	0.14012	—	—	−0.29309	−0.13274	—
人均矿区面积	−0.00354	—	0.00182	0.00969	0.00443	0.00144
常数项	2.27208	−7.38875	−0.66090	−1.74821	1.63762	−1.47345
Sig.	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

ROC 检验结果发现,各地类 ROC 值(耕地 ROC=0.884、园林地 ROC=0.930、水域 ROC=0.882、其他用地 ROC=0.792、建设用地 ROC=0.905、采矿用地 ROC=0.936)均大于 0.75,表明所选驱动因子对各地类的空间分布情况具有较好的解释能力,其中园林地和采矿用地 ROC 值较高,分别达到 0.930,0.936,说明驱动因子对二者解释能力较强。其他用地 ROC 值较低,仅为0.792,在研究初期的土地利用类型确定时,考虑到模型运行前提条件为各地类面积比例需大于 1%,研究将部分面积过小的用地类型(如设施农用地、未利用地等)归并为单一土地利用类型(即其他用地),由此导致该用地类型不确定性因素多,驱动因子对其解释能力弱。

2.2 模拟结果与验证

完成模型参数设置后,运行 CLUE-S 模型获得对应时间段内模拟结果。研究分别以 1995 年和 2005 年为基期数据模拟 2014 年土地利用空间格局,时间间隔分别为 19 a 和 9 a,将其分别与人工目视解译实际获得的 2014 年现状图进行验证和比较分析,以确定模拟的时间间隔大小。附图 17 为研究区 1995 年、2005 年模拟结果。

模型的验证可以用来检验模拟的优劣情况,调整模拟参数。Kappa 系数常用来评价遥感的分类精度、图件间相似程度,能够从数量和空间角度上定量反映土地利用变化模拟过程中丢失的空间信息量,其中 Kappa 系数公式为: $Kappa=(P_o \cdot P_e)/(P_p \cdot P_c)$,式中 P_o 为正确模拟的比例; P_e 为随机情况下期望的正确模拟比例; P_p 为理想分类情况下的正确模拟比例(100%);当 Kappa 系数大于 0.75 时,图件间一致性较高,变化相对较小,

Kappa 系数处于 0.4~0.75 时,一致性一般,变化较为明显,Kappa 系数小于 0.4 时,模拟效果差。

将 2014 年土地利用现状图与模拟图进行求差栅格运算,模拟正确的区域栅格属性值将为 0,通过对属性值为 0 的栅格数目提取可得到模拟精度,由检验结果可知 1995 年和 2005 年基期分别有 33 604,35 111个栅格得到正确模拟,错误栅格数分别为 4 519,3 012 个,各自对应模拟正确比例分别为 88.15%和 92.10%,Kappa 系数均超过 0.75,准确率可达到可信的效果,确定模拟目标年为 2025 年。

2.3 情景模拟

围绕研究区未来土地数量需求方案,在综合考虑土地利用现状及未来发展战略情况下,结合国内外 CLUE-S 模型情景方案设计的研究成果,共设置趋势发展、耕地保护、经济发展和生态保护 4 种土地利用变化情景模拟方案。在模型的具体操作中,情景方案的实现主要是通过相关参数的调整和设置不同的空间约束性区域。

趋势发展情景:未来土地利用变化延续 2005—2014 年土地转移速率。在未来发展中,土地需求变化依然按照各地类 2005—2014 年的变化速率恒定变化,土地利用需求不会受到政策调整的影响,耕地和未利用地继续保持减少,园林地、水域、建设用地和采矿用地呈现缓慢上升态势。

耕地保护情景:在耕地保护情景下,土地利用布局主要考虑保障粮食安全,耕地资源的有效保护和面积的控制是其主要实现目标。依照基本农田相关规划,将基本农田保护区设定为限制性区域,从而限制

基本农田向其他地类发生变化,通过设定参数限制基本农田转换方向。非基本农田外,优先进行耕地建设,提高耕地增加潜力。在规划纲要中要控制建设用地总量的前提下,适当降低人均建设用地面积,提高建设用地集约水平。

经济发展情景:经济保护下,以经济发展优先为目标,在保证限制性区域不变的前提下,适当提高建设用地规模,优先发展经济。在未来发展中,尖山区、四方台区、宝山区和岭东区 4 区建设用地中心地带建设用地需成片集中增长,其对区域经济的拉动带动作用得以体现,建设用地总体规模需保持较快的增长速度。

表 3 2025 年不同情景下土地需求 hm²

情景	耕地	园林地	水域	其他用地	建设用地	采矿用地
趋势发展	46552	88706	2832	1028	11222	2152
耕地保护	47928.24	88018.38	2790.604	991.198	10765.94	1997.645
经济发展	47623.25	86996.69	2805.853	1006.447	11833.38	2226.383
生态保护	47455.51	88765.59	2866.85	960.6996	10750.69	1692.661

通过 2025 年各情景模拟图和 2014 年现状图的叠加和统计分析,分析各土地利用情景下的土地利用变化差异,结果显示,不同情景土地利用变化呈现出显著的差异特征。

趋势发展情景下,到 2025 年,土地利用格局将延续现有发展趋势。耕地和其他用地面积持续较少,其中有 75.21%的耕地流向园林地,12.05%流向其他用地,而其他用地的流向源头绝大部分为建设用地,其所占比例超过 98.01%;园林地、水域用地、建设用地和工矿用地保持增长,但增长幅度有所差异,建设用地增长幅度最大,达到 11.41%,其增长面积中有 63.03%的相对面积比例来自其他用地。在现有发展趋势下,未来工矿用地继续保持增长,其增长面积比例将仅次于建设用地,达到 9.50%,工矿的开采将仍以侵占耕地为主。水域用地在未来面积将增加 228 hm²,达到 2 808 hm²,增长幅度为 8.84%,其增长来源主要为园林地和耕地,其中林地占到 70.18%。园林地将轻微增长,面积变化幅度为 1.25%。

基本农田在保障国家粮食安全、促进经济稳定、可持续发展上具有重要的意义,在耕地保护情景中,需严格限制基本农田流向途径,将基本农田保护区作为限制性区域输入模型中以保证域内耕地不会转变为其他用地类型。模拟结果显示,耕地较其他情景下表现出分布范围广、集中连片的特征。总体而言,耕地仍然保持下降趋势,但速度有所下降,至 2025 年,其面积下降幅度为 1 420 hm²,大部分仍然流向园林地,相对面积比例达到 81.36%。由于耕地的保护限制,导致建设用地和工矿用地的扩张趋势有所抑制,其中工矿用地仅

生态保护情景:生态保护情景下需重点考虑土地利用布局对区域生态环境的改善作用,适当控制耕地的增长速度和规模,提高如未利用地、水域用地和林地的面积,提高竞争性用地向生态用地的转化率,在自然与风景名胜保护区内一切的人类活动都应该禁止。

基于以上情景目标设计,设置不同情景下的土地利用类型转化弹性系数(表 1)和转化规则,并分别计算和估算不同情景方案下的土地需求面积(表 3),通过设定 4 种不同的空间限制性区域,重新设定模型参数,以 2014 年土地利用为基期模拟 2025 年 4 种情景下土地空间分布格局(附图 18)。

增加 48 hm²,相对面积比例增加 2.48%。

建设用地规模在一定程度上体现出经济的发展程度,在经济发展情景中,在政策允许的范围内,适当放松其他用地向建设用地的流向限制,即通过转移弹性系数和转移矩阵得以实现。未来该区域建设用地面积将增加至 1 884 hm²,增加幅度达到 18.92%,未来建设用地将大量侵占其周边的耕地和园林地,由此导致其扩张的主要来源为耕地和园林地,二者转化贡献率分别达到 49.26%和 46.28%,空间上表现为扩张主要集中于尖山区西南部城市建成区。矿产资源的开采与加工在该地区经济中占有较高的比重,在经济发展情景下,未来该地区工矿用地面积增长幅度在 4 个情景中最大,约增加 276 hm²,增长相对面积比例 14.26%。

在生态保护情景下,应重点考虑区域生态环境的改善,生态效益高的用地类型需限制其转变用途,如水域用地和林地,在模型运行参数设置时,提高其转移弹性系数,并通过土地利用转移矩阵约束其转化,同时将风景名胜保护区、生态敏感区和生态保护区设为限制性区域。2025 年土地利用模拟图显示,未来耕地、其他用地和工矿用地面积将维持不同程度下降的趋势,尤以其他用地下降幅度最大,达到 14.59%,变化多集中于研究区东北部的宝山区工矿周边的废弃地、裸地等其他用地,而工矿用地将下降 236 hm²,变为 1 701 hm²,这在一定程度上制约了该地区的经济发展。园林地和水域用地面积显著增加,南部的山区土地开发利用条件差,地势高,通过大量种植林地可以改善当地的生态环境。水域用地面积较小,增加区多零星分布于区域的北部平原地带。

3 结论

各土地利用类型回归方程拟合度较高,6 种土地类中 ROC 最低值 0.792,均通过 ROC 检验,说明所选取的驱动因子对当地各地类分布具有较高的解释能力,模型参数设置合理。将 2014 年解译现状图与模拟图件进行对比验证,1995 年和 2005 年模拟正确比例分别为 88.15% 和 92.10%,Kappa 系数均超过 0.75,准确率达到可信的效果,说明运用 CLUE-S 模型可以较好模拟当地未来土地发展态势。共设置趋势发展、耕地保护、经济发展和生态保护 4 种土地利用变化情景模拟方案,通过相关参数的调整和限制性区域设置实现模型模拟。研究发现当地未来发展应妥善处理好耕地保护、经济发展和生态保护三者的关系。在趋势发展下,耕地和其他用地面积持续较少,建设用地达到最大的 11.41% 增长幅度,而工矿用地面积增长速度仅次于建设用地;耕地保护情景下,耕地仍然保持下降态势,但速度明显下降,在耕地保护政策限制下,建设用地和工矿用地的扩张趋势有所抑制;经济发展情景下,建设用地面积增长速度显著上升,其将大量侵占其周边的耕地和园林地,工矿用地面积增长幅度最大,达到 14.26%;生态保护情景下,耕地、其他用地和工矿用地面积呈现出不同程度下降的特征,尤以其他用地类型下降幅度最大,生态效益高的园林地和水域用地面积显著增加。

CLUE-S 模型模拟的精度在很大程度上取决于驱动因子选取的科学性和合理性,但由于部分因子的获取存在很大难度,在一定程度上影响着模型模拟精度。考虑到部分因子(如人均矿区面积)的数据统计是以内部完整的行政单元而进行的,而单元内部的分布差异必定会导致一定误差,本文在研究时基于工矿用地各斑块面积大小实现因子的均摊处理,并采用空间数据插值的方法实现因子的二次处理,可能在一定程度提高模拟的科学性。土地利用发展和政策因素相关程度高,但由于其主观性强,量化难度大,如何将政策等宏观驱动因素考虑进来将是未来研究的重点和难点^[18]。在情景需求的估算中,如果能够通过说服力更强的估算方法进行估算,将会大大提高模型的模拟精度和结果的指导性。

参考文献:

[1] 杨娟,蔡永立,袁涛. 基于 CLUE-S 模型的崇明县土地利

- 用变化时空动态模拟研究[J]. 中国农学通报, 2014, 30(11): 258-264.
- [2] 王健,田光进,全泉,等. 基于 CLUE-S 模型的广州市土地利用格局动态模拟[J]. 生态学杂志, 2010, 29(6): 1257-1262.
- [3] 贺秋华. 江苏滨海土地利用/覆盖变化及其生态环境效应研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2011.
- [4] 郭碧云,张广军. 基于 GIS 和 Markov 模型的内蒙古农牧交错带土地利用变化[J]. 农业工程学报, 2009, 25(12): 291-298.
- [5] 谭永忠. 县级尺度土地利用变化驱动机制及空间格局变化模拟研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2004.
- [6] 李平,李秀彬,刘学军. 我国现阶段土地利用变化驱动力的宏观分析[J]. 地理研究, 2001, 20(2): 129-138.
- [7] 渠爱雪. 矿业城市土地利用与生态演化研究[D]. 江苏徐州: 中国矿业大学, 2009.
- [8] 周海林. 资源型城市可持续发展评价指标体系研究: 以攀枝花为例[J]. 地域研究与开发, 2000, 19(1): 12-16.
- [9] 王慧,吴云生,张永生. 面阵 CCD 数字航测相机影像几何拼接误差模型与分析[J]. 测绘学院学报, 2003, 20(4): 257-262.
- [10] 黎夏,叶嘉安. 基于神经网络的单元自动机 CA 及真实和优化的城市模拟[J]. 地理学报, 2002, 57(2): 159-166.
- [11] 张永民,赵士洞,Verburg P H. CLUE-S 模型及其在奈曼旗土地利用时空动态变化模拟中的应用[J]. 自然资源学报, 2003, 18(3): 310-318.
- [12] 张鸿辉,曾永年,金晓斌,等. 多智能体城市土地扩张模型及其应用. 地理学报, 2008, 63(8): 869-881.
- [13] 黄秋昊,蔡运龙. 国内几种土地利用变化模型述评[J]. 中国土地科学, 2005, 19(5): 25-30.
- [14] 周锐,苏海龙,胡远满,等. 不同空间约束条件下的城镇土地利用变化多预案模拟[J]. 农业工程学报, 2011, 27(3): 300-308.
- [15] 张丁轩,付梅臣,陶金,等. 基于 CLUE-S 模型的矿业城市土地利用变化情景模拟[J]. 农业工程学报, 2013, 29(12): 246-256.
- [16] 许光洪. 我国矿业城市的产业结构调整及其发展途径[J]. 中国人口·资源与环境, 1998, 8(1): 26-30.
- [17] Verburg P H, Soepboer W, Veldkamp A, et al. Modeling the spatial dynamics of regional land use: the CLUE-S model[J]. Environmental Management, 2002, 30(3): 391-405.
- [18] 张学儒,王卫, Verbug P H,等. 唐山海岸带土地利用格局的情景模拟[J]. 资源科学, 2009, 31(8): 1392-1399.