

# 基于 CLUE - S 模型的深圳海岸带土地利用变化模拟

潘润秋<sup>1,2</sup>, 罗启源<sup>1</sup>, 肖迪<sup>1</sup>, 费腾<sup>1</sup>

(1. 武汉大学 资源与环境科学学院 湖北 武汉 430079; 2. 武汉大学 教育部地理信息系统重点实验室 湖北 武汉 430079)

**摘要:** 以深圳海岸带为研究区, 基于 1996、2005、2011 年遥感影像得到研究区土地利用历史数据, 选取自然、社会统计数据作为驱动因素, 利用 CLUE - S 模型分别从不同时间尺度和空间尺度对研究区 2005、2011 年的土地利用分布予以模拟, 并对模拟结果分别从类别和景观水平予以精度评价。从类别水平角度, 选择 ROC 曲线对各地类的 Logistic 回归拟合精度进行评价; 从景观水平角度, 选取 Kappa 指数对模拟效果予以评估, 以验证所选驱动因子的合理性。结果表明: 在研究区范围内, CLUE - S 模型的类别精度随着空间分辨率的改变而有所差异, 100 m 分辨率为本研究模拟的最佳尺度, 各地类的 ROC 值均高于 0.7; 随着模拟时间的缩短模拟精度有所增加; 东海岸由于受到人类影响较小, 模拟效果整体相对较好。总体而言, CLUE - S 模型适用于研究区土地利用模拟, 所选驱动力因子能够对研究区土地利用变化予以较好的解释。

**关键词:** 土地利用变化; CLUE - S; 预测模型; 精度评价

中图分类号: P285.2<sup>+3</sup> 文献标识码: A 文章编号: 1672 - 5867(2016)04 - 0032 - 05

## Stimulation on Land Use Change of Shenzhen Coastal Zone Based on CLUE - S Model

PAN Run - qiu<sup>1,2</sup>, LUO Qi - yuan<sup>1</sup>, XIAO Di<sup>1</sup>, FEI Teng<sup>1</sup>

(1. School of Resource and Environmental Sciences, Wuhan University, Wuhan 430079, China; 2. Key Laboratory of Geographic Information System, Ministry of Education, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

**Abstract:** Based on 1996, 2005 and 2011 remote sensing images, this paper used CLUE - S model to simulate the land use spatial patterns of 2005 and 2011 from different time and space scales in Shenzhen coastal zone. A series of natural and social statistics were used as driving factors, the simulation accuracy is evaluated from the different level to verify the rationality of the selected driving factors. In order to verify the reasonableness of the selected drive factors, the ROC curve was used to validate the fitting accuracy of the logistic regression model from the perspective of the category level, and the Kappa index was used to evaluate the simulation results of the CLUE - S model from the perspective of landscape level. The results showed that in the range of 100m resolution the Logistic fitting accuracy has achieved the best results in the study area, the accuracy of each land use type were above 0.7 in eastern and western coast in both 1996 and 2005. Landscape simulation accuracy increases with time shortened. The Landscape simulation accuracy of Eastern Coast is relatively better due to the small human influence. Overall, the CLUE - S model is suitable for simulating the spatial distribution patterns of the main land use types in Shenzhen coastal zone, and the selected driving factors can explain the changes of land use in the study area.

**Key words:** land use change; CLUE - S model; change detection; accuracy assessment

### 0 引言

土地利用变化因其对全球变化的重要影响已成为当前的热点研究问题, 土地利用变化的现状、影响、驱动力逐渐引起了社会的普遍关注。利用模型对土地利用布局

进行模拟是土地利用变化研究的重要方法, 有助于深入了解土地利用的演变过程、作用机理和环境影响<sup>[1]</sup>。近年来, 采用空间预测模型对研究区用地空间布局进行模拟的研究较多, 如常见的元胞自动机<sup>[2]</sup> (CA)、ABM<sup>[3]</sup>、CLUE - S 模型<sup>[4]</sup>等, 基于土地利用变化模型进行驱动力

收稿日期: 2015 - 11 - 02

基金项目: 林业公益性行业科研专项(201404035)资助

作者简介: 潘润秋(1964 - )男, 吉林九台人, 副教授, 硕士, 1999年毕业于武汉测绘科技大学地图制图学与地理信息工程专业, 主要从事土地规划与评价研究工作。

分析可以突破人类思维能力的局限,为土地利用规划决策提供参考<sup>[5]</sup>。

海岸带位于海洋与陆地的过渡地带,以其特殊的地理位置和丰富的自然资源,成为人类生存发展的优选区域<sup>[6]</sup>。海岸带的竞相开发使本就敏感的海岸带生态环境遭受严重破坏,海岸带也成为全球变化研究的热点领域。对海岸带土地利用变化情景进行模拟,分析驱动因素是保护海岸带生态环境、维护海岸带生态平衡的重要环节,具有现实意义。海岸带的土地利用演变既包含自然条件的作用,也包含人为影响的因素<sup>[7]</sup>。国内使用 LUCC(土地利用/土地覆盖变化)模型对海岸带进行土地利用变化的研究取得了一定的进展:武桂贞<sup>[8]</sup>在传统定性分析耕地的基础上使用 CLUE-S 模型,选取土壤类型、地下水埋深、海岸线距离等因子对河北省海岸带的空间格局进行模拟以分析其土地利用变化驱动力;马金卫等<sup>[9]</sup>基于城市空间扩展模型 SLEUTH 对烟台市不同发展方案下的城镇扩张与土地利用变化过程进行模拟;冯永玖<sup>[10]</sup>通过对上海海岸带的 CA 模拟探讨了元胞邻域的大小及组合对模拟效果的影响。其中,CLUE-S 模型作为经验统计模型的代表<sup>[11]</sup>,是一种比较完善和理想的 LUCC 模型<sup>[12]</sup>,其优势在于可以根据经验量化土地利用变化与驱动因子间的关系,并同时模拟多种土地利用方式变化的情景<sup>[13]</sup>。但当前基于 CLUE-S 模型进行的研究主要集中于城市尺度<sup>[14-15]</sup>土地利用动态模拟,较少涉及海岸带土地利用变化,且多使用单一空间分辨率进行多年份模拟,或使用单一时间分辨率讨论不同空间分辨率下的模拟效果<sup>[4,16]</sup>。由于特殊地理位置的影响,海岸带用地扩张受到一定的限制,因此,本文以深圳海岸带为研究对象,选择对海岸带用地空间布局变化有一定影响的自然、社会经济因素,利用 1996、2005、2011 年的遥感影像数据,借助 CLUE-S 模型,分别从不同空间、不同时间分辨率尺度对研究区范围内的土地利用进行模拟,并讨论模拟精度进而探讨研究区土地利用的驱动因素。考虑到深圳海岸带东西部发展现状和所受的人为影响程度有较大差异,且 CLUE-S 模型本身对栅格行列数有所限制,本文将研究区分为东、西两部分分别进行研究,以验证驱动因子的影响作用。

## 1 研究区概况

本文以深圳海岸带为研究对象,具体范围为以海岸线为中心、自海岸线向陆地一侧 1 km 距离以内的闭合区域。深圳海岸带被九龙半岛分隔为东西两部分。1996 年研究区总面积 443.58 km<sup>2</sup>。研究区(如图 1 所示)属亚热带海洋性气候,气候温和,雨量充沛。东海岸包括大亚湾和大鹏湾,多为岩岸和沙滩,西海岸北起东宝河口,向南到深圳湾,主要为泥滩伴随城市化、社会和经济的快速发展,深圳海岸带的资源、环境和生态系统面临前所未有的压力挑战。

## 2 数据来源

本次研究主要选取 1996 年的 TM 影像、2005 年的 SPOT-5 影像、2011 年的 SPOT6 遥感影像数据,30M 全球

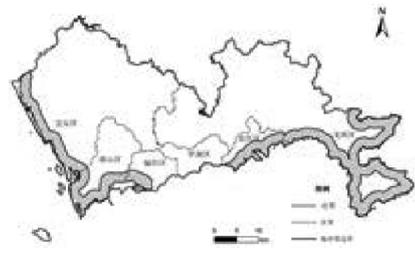


图1 研究区位置

Fig.1 Location of the study area

数字高程模型(The Global Digital Elevation Model) 基于世界土壤数据库(HWSD)的 1:1 000 000 中国土壤数据集<sup>[17]</sup>和相关的社会经济统计数据等,遥感影像全部重采样到 50 m 分辨率。遥感影像在 ERDAS 和 ArcGIS 下进行数据预处理、分类和矢量化。经野外实地抽样调查验证,2011 年总体解译精度达到 87% 以上,结合深圳市规土委信息中心提供的土地利用调查数据对解译结果进行精度评价,精度符合研究要求。参考国土资源部制定的第二次全国土地调查技术规程<sup>[18]</sup>,结合 CLUE-S 模型中土地利用空间布局模拟的需要,以及海岸带特殊的地理环境,将研究区土地划分为耕地(C<sub>0</sub>)、林地(C<sub>1</sub>)、海水养殖用地(C<sub>2</sub>)、建设用地(C<sub>3</sub>)、水域(C<sub>4</sub>)、滩涂(C<sub>5</sub>)和未利用地(C<sub>6</sub>)七类。其中,海水养殖用地和滩涂虽然属于二级地类,但考虑到其在海岸带土地利用的构成中具有重要作用,因此,归为一级类。相关研究在驱动因素的选择上,主要考虑社会驱动因子、区位性因子和自然属性因子三大类因素,具体包括人口密度、GDP、地方财政收入、固定资产投资额、三次产业增加值、距河流距离、距农村居民点距离、距城镇距离、距道路距离、距海岸线距离,以及土壤类型、坡度、坡向因子等<sup>[14,17]</sup>。基于资料的可获取性、因子的可定量性以及紧密联系性等原则,主要选择社会驱动因子以及海岸带特殊区位因子来对影响深圳海岸带土地利用变化的驱动力进行分析。社会驱动因子主要来源于深圳市年鉴,包括人口密度、GDP、固定资产投资额、政府财政收入及三次产业增加值等;海岸带区位因子主要通过 ArcGIS 软件进行缓冲分析得到,包括距河流距离、距农村居民点距离、距城镇距离、距道路距离、距海岸线距离、距沟渠距离、距机场距离;坡度、坡向、土壤类型因子通过 DEM 和土壤数据在 ArcGIS 中进行投影、校正和重分类获得。通过实验对比结果,最终确定使用 100 m 分辨率,将所有地类和驱动因子生成为 100 m × 100 m 的栅格数据,并转化为 ASCII 格式。

## 3 研究方法

### 3.1 CLUE-S 模型

CLUE-S 模型由荷兰瓦格宁根大学的 P. H. Verburg<sup>[19]</sup>等提出,利用 Logistic 回归将土地利用类型与驱动力因子相结合,通过制定转化规则、土地利用需求以及约束文件等实现对土地利用空间布局的模拟。CLUE-S 模型结合空间与非空间模块两部分,与其他模型相比,解释

力更高,更具有说服力<sup>[1]</sup>。

### 3.2 模型设置

#### 3.2.1 模拟分辨率设定

##### 1) 时间分辨率设定

本文以 1996 年为预测基期模拟 2005 年、2011 年土地利用格局,并以 2005 年作为基期模拟 2011 年的土地利用格局,将模拟结果与现状进行比较,以验证本文所选深圳驱动因素的合理性。预测时间分别为 6 年、9 年和 15 年。

##### 2) 空间分辨率设定

为了确定模拟过程中的空间分辨率,本文以 1996 年的西海岸带作为实验对象,根据研究区的范围大小以及模型的限制要求,并参考相关文献的分辨率设置<sup>[1-20]</sup>,选取 50 m、100 m、250 m 3 个尺度进行试验分别构建 7 个地类的模拟模型,以确定最终模拟的空间分辨率。

#### 3.2.2 驱动因子处理

海岸带的土地利用变化受到复杂的因素影响。为了更为清晰地解释不同驱动因子对各类土地利用变化的影响,研究选取 17 个驱动因子进行分析,包括自然因子和人为因子。由于 CLUE-S 模型在模拟时只支持 ASCII 数据格式,因此,需要对固定资产投资额、地方财政收入等数据栅格化,本研究通过利用行政单元面积权重法<sup>[21]</sup>将社会驱动因子数据进行网格化处理,从而将区级行政单元数据分布到网格中,形成栅格数据形式。最后将各所有驱动因子转化为 ASCII 的 sclgr\*.fil 文件。

#### 3.2.3 Logistic 回归

在 CLUE-S 模型中,需要运用 Logistic 回归来计算具体栅格呈现某种土地利用类型的概率大小<sup>[22]</sup>。本文使用 ArcGIS 提取单一土地利用类型空间分布,并分别与 17 个驱动因子在 SPSS 19 软件中进行二元 Logistic 回归计算,在  $\alpha=0.05$  的水平下对变量进行选择剔除,筛选驱动因子。最终确定各地类回归函数方程,保存为 alloc1.reg 文件。

#### 3.2.4 转化规则设定

土地利用转移矩阵通过设立一个  $n \times n$  的矩阵来定义地类之间是否允许转化,其中  $n$  为地类数量,矩阵中 1 表示可以转化,0 表示不允许转化<sup>[23]</sup>。考虑到建设用地向其他用地类型转化难度较大,本文设置建设用地禁止转化,将转移矩阵保存为 allow.txt 文件。土地利用稳定性参数 ELAS 用 0~1 的数值反映土地类型变化强度,当地类越稳定时,参数值越接近于 1,如其他用地向建设用地转化往往是不可逆的,因此,稳定性参数趋近于 1<sup>[7]</sup>。经过反复检验调试,本文最终设置土地利用转移弹性参数见表 1。

表 1 CLUE-S 模型转化规则参数表  
Tab.1 CLUE-S model transformation rule

	$C_0$	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$
1996 西部	0.5	0.9	0.2	1	0.4	0.2	0.5
1996 东部	0.2	0.9	0.6	0.9	0.9	0.6	0.6
2005 西部	0.6	1	0.6	1	0.9	0.6	0.2
2005 东部	0.3	0.9	0.6	1	0.7	0.7	0.2

#### 3.2.5 土地利用需求

CLUE-S 模型需要提供模拟时期内各年具体土地利用类型的需求量。本文采用线性内插的方法,确定研究期内各地类的需求量,并保存为 demand.in\* 文件。

#### 3.2.6 空间约束设定

CLUE-S 模型中,可以对限制土地利用变化的区域进行设置,如禁止自然保护区、基本农田区域内的土地利用方式发生变化。本文对深圳内伶仃-福田国家自然保护区进行设置,将该区域内的属性值设定为 -9 998,其他区域的属性值为 0,保存为 ASCII RASTER 格式的 region\_park\*.fil 文件。

### 3.3 精度评价

本文使用 ROC 曲线下的面积 AUC (Area Under Curve) 指数来对土地利用格局模拟的类型水平进行精度检验。ROC 曲线<sup>[24]</sup>是检验因变量与解释变量间拟合可信度的重要指标,其具有不受自变量的限制的优点,因而可以检验不同变量组成的回归方程<sup>[22]</sup>。一般认为,ROC 曲线下的面积越大拟合程度越好,可信度越高,当 ROC > 0.7 时,具有较高的可信度。

为了从景观水平上评价 CLUE-S 模型在研究区的模拟精度,本文引入 Kappa 指数以定量分析所选驱动因子对深圳海岸带土地利用变化的解释能力。Kappa 指数用来检验模拟图与土地利用现状图的一致性,Kappa 指数值与模拟效果的准确率成正比,当 Kappa 值为 1 时,模拟图与现状图完全吻合<sup>[25]</sup>。

## 4 结果与分析

### 4.1 类型水平上的精度验证及驱动机制分析

对 1996 年的西海岸带从 50 m、100 m、250 m 三个尺度进行模拟实验,检验其不同分辨率下的 ROC 拟合度,结果见表 2。

表 2 1996 年深圳西海岸带不同空间分辨率 Logistic 回归的 ROC 统计

Tab.2 Statistics of Logistic regression for each type based on different resolution in the western coast of Shenzhen in 1996

	$C_0$	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$
50	0.982	0.804	0.858	0.761	0.776	0.757	0.723
100	0.986	0.773	0.891	0.928	0.794	0.935	0.929
250	0.920	0.757	0.851	0.757	0.738	0.847	0.671

可知,比较 1996 年的三次模拟结果,除 50 m 分辨率下林地的 ROC 值稍高外,100 m 分辨率下的各地类 Logistic 回归拟合度整体好于其他分辨率下的水平。因此,本文选择 100 m 空间分辨率进行深圳海岸带土地利用格局模拟。

对 1996、2005 年的各用地类型进行 Logistic 回归分析,其 ROC 值见表 3。

表 3 1996 和 2005 年深圳海岸带 Logistic 回归结果  
 Tab. 3 Statistics of Logistic regression in the coast of Shenzhen in 1996 and 2005

	$C_0$	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$
AUC	0.986	0.773	0.891	0.928	0.794	0.935	0.929
AUC	0.977	0.887	0.928	0.908	0.916	0.977	0.804
AUC	0.969	0.905	0.913	0.857	0.802	0.940	0.804
AUC	0.910	0.944	0.974	0.958	0.852	0.983	0.868

由表 3 可以看出,各年各地类的 ROC 值均高于 0.7,表明所选驱动因子对研究区有较好的解释能力,模拟结果是可信的。其中,滩涂的解释效果相对最好,均大于 0.9,表明所选驱动因子能够较为精确地模拟滩涂的空间布局。相比之下,林地、水域的 ROC 值偏低,这与林地、水域的分布相对分散、布局成因复杂存在着联系,但仍达到要求水平。由于在 1996~2011 年间,经济发展、建设用地需求激增,研究区大量农用地转化为非农用地,导致耕地数量锐减,样本量过少,截至 2011 年,西海岸带范围内已无耕地,因此,耕地的回归分析准确度可能受到影响,其 ROC 值可靠性有待进一步讨论。

根据 Logistic 回归结果,人口、GDP 因子均未进入方程,表明与其他因子有较强的相关性,予以剔除。自然因素中,1996、2005 年距河流的距离、土壤类型和距海岸带的距离在东、西海岸带回归中基本均进入了方程,表明这三类因素对深圳海岸带的土地利用分布有着较为显著的影响;坡度因素在西海岸带进入方程次数较少,而在东海岸带则较多,这是因为深圳地势东南高西北低,西海岸带地势相对平缓,坡度因素未构成较大影响;坡向因素,只对林地、耕地有一定的影响,表明坡向对深圳海岸带的地类布局影响较小,这符合实际情况。人工因素中,距城镇的距离、距道路的距离、固定资产投资额进入方程次数较多,表明这些因素对深圳海岸带的土地利用布局有着较为重要的影响,2005 年以后,第三产业增加值在方程中的系数大约增长了 10 倍,这是由于深圳市自 2005 年以来第三产业用地的渐进增长,在城镇用地中所占比例的逐渐提高,显示着深圳的城市发展逐渐成熟。

4.2 景观水平上的精度验证及驱动机制分析

将 CLUE - S 模型的模拟结果与相对应的土地利用现状进行比较,其 Kappa 指数计算结果见表 4。

表 4 研究区 Kappa 指数计算结果  
 Tab. 4 Results of Kappa coefficients

	1996 ~ 2005	1996 ~ 2011	2005 ~ 2011
西海岸带	0.68	0.67	0.92
东海岸带	0.78	0.77	0.85

从时间尺度进行分析,1996 年对 2005 年的模拟准确率稍高于对 2011 年的模拟准确率,表明模拟效果会随着时间跨度的增长而下降<sup>[1]</sup>。2005 年模拟 2011 年的结果要好于以 1996 年为基期的模拟,这一方面是时间尺度对模拟精度的影响所致,另一方面是因为在 1996~2005 年

时间范围内,深圳海岸带大量耕地、滩涂、未利用地转化为林地、建设用地,其中,建设用地的斑块数量、斑块平均面积亦在不断增加,景观用地也实现了从无到有;而 2005~2011 年间,深圳海岸带开始渐渐趋于稳定,城镇建设用地吞噬其他用地的幅度有所减缓。模拟未考虑海岸带扩张、政策驱动等条件的影响,致使各期模拟与真实情况仍存在一定的差距。

从空间尺度进行分析,以 1996 年为基期的两期模拟东海岸的效果均好于西海岸,这主要是由于 1996~2005 年内西海岸带受人为活动影响程度较大,大规模填海造地使海岸线向海洋一侧扩张<sup>[26]</sup>;西海岸带地类相对比较散乱,细碎化严重,尤其是林地较为分散;与此同时,受到经济快速发展的影响,城市建设大规模侵占其他用地,农业结构不断遭受破坏;而东海岸带人类活动频率相对较小,受人为影响较少,土地利用结构相对稳定。2005 年模拟 2011 年东、西海岸带出现的差异可以解释为从 2005 年起,东海岸带由于大鹏湾附近港口码头的开发建设,且受到城市发展的强大土地压力,城镇用地开始大幅度上升,且受到政策影响以及经济林、果园的建设,东海岸带土地利用变化率总的趋势开始变高。

根据 1996~2011 年深圳海岸带现状图(如图 2、图 3 所示),深圳海岸带的土地利用空间变化较为明显,且在此期间东、西海岸带均有不同程度的向外延伸现象,尤其西海岸受到滩涂围垦、填海造地的影响较为严重,且多为淤泥浅滩地质,海岸线变化较为强烈,向海一侧扩张十分明显。CLUE - S 模拟结果表明,所选驱动因子能够反映研究区土地利用的动态变化,具有一定可信度,尤其是对条带状分布的水域和格网状分布的海水养殖用地能够较好地体现,但对破碎化程度较为严重的林地,则需要考虑引入其他因素进一步改善其模拟效果。

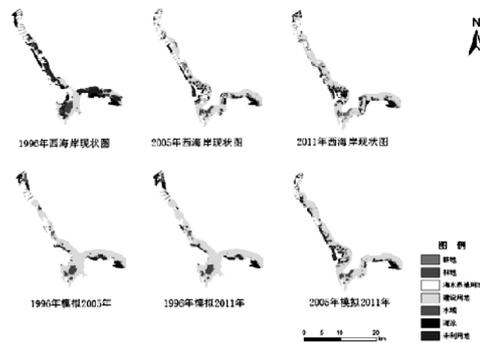


图 2 深圳西海岸带土地利用模拟结果与现状图比较  
 Fig. 2 Comparison of the actual and simulation results of land use type in the western coast of Shenzhen

5 结束语

本文基于 CLUE - S 模型,采用不同时间、空间分辨率尺度利用所选驱动因素对深圳海岸带的土地利用进行模拟,并分别从类别水平和精度水平多角度对模拟结果进行评价,以验证驱动因子选择的合理性。结果表明,以

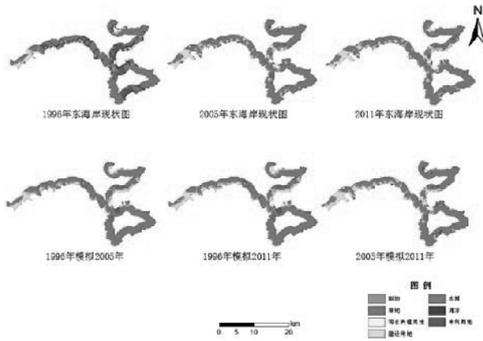


图3 深圳西海岸带土地利用模拟结果与现状图比较  
Fig.3 Comparison of the actual and simulation results of land use type in the eastern coast of Shenzhen

1996年西海岸作为实验对象,三种空间分辨率下100 m分辨率的Logistic整体拟合精度最高;实验区的模拟结果显示所选驱动力因子与各地类的Logistic回归拟合精度均达到0.7以上水平,其中,以滩涂的拟合度最高,均高于0.9,林地和水域相比较低;以2005年模拟2011年的结果与真实图的Kappa指数最高,均达到0.8以上水平。

总体来说,CLUE-S模型可用于对深圳海岸带土地利用的模拟预测,所选驱动因子对研究区土地利用变化有良好的解释作用。其中,自然因素中,距河流的距离、距海岸线的距离和土壤类型对东、西海岸带的土地利用空间布局有着较明显的影响,受地势影响,东海岸带土地利用分布也受到坡度因素的较强限制;人为因素中,距城镇的距离、距道路的距离、固定资产投资额对地类空间分布有较强的影响作用,人口和GDP由于与其他因子存在相关性因而被剔除。对CLUE-S模拟结果进行分析,表明模拟随着时间的缩短精度发生变化,时间越短,模拟图越接近真实图。东海岸带因人类活动频率较小,各期模拟精度均较高;而1996~2005年间深圳西海岸带由于受人为影响较大,大量开发建设占用耕地、海水养殖用地,且受到人为填海造陆和本身地质的影响,海岸线不断向外扩展,使1996~2005年、1996~2011年西海岸带两期模拟精度相对东海岸较低。本研究基于所选驱动力因子对深圳海岸带的土地利用空间布局模拟,并得出上述结论,但该结论是否适用于所选研究区之外的其他地区,有待于进一步的验证讨论。由于海岸带存在向海域扩张的现象,研究区的大小会随时间发生变化<sup>[13]</sup>,而模型目前未将海岸带扩张的影响纳入到考虑范围。此外,土地利用变化受到的政策推动作用难以具体量化,且本研究采用了较为简单的线性内插法确定土地需求量,模拟效果与真实情况之间尚存在一定的差距。

### 参考文献:

- [1] 周锐,苏海龙,王新军,等. CLUE-S模型对村镇土地利用变化的模拟与精度评价[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(2): 174-180.
- [2] 徐昔保. 基于GIS与元胞自动机的城市土地利用动态演化模拟与优化研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2007.

- [3] 唐华俊,吴文斌,杨鹏,等. 土地利用/土地覆被变化(LUCC)模型研究进展[J]. 地理学报, 2009, 64(4): 456-468.
- [4] 张学儒,王卫,徐中春. 唐山海岸带土地利用格局的情景模拟[J]. 资源科学, 2009, 31(8): 7.
- [5] 朱利凯,蒙吉军. 国际LUCC模型研究进展及趋势[J]. 地理科学进展, 2009, 28(5): 782-790.
- [6] 王智苑. 闽南地区海岸带土地利用变化及其生态效益研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2010.
- [7] 孙永光. 基于CLUE-S模型验证的海岸带围垦区景观驱动因子贡献率[J]. 应用生态学报, 2011, 22(9): 2391-2398.
- [8] 武桂贞. 河北省海岸带土地利用变化驱动力的定量研究[D]. 石家庄: 河北师范大学, 2008.
- [9] 马金卫,吴晓青,周迪,等. 海岸带城镇空间扩展情景模拟及其生态风险评价[J]. 资源科学, 2012, 34(1): 185-194.
- [10] 冯永玖,韩震. 海岸带土地利用模拟结果对元胞邻域的响应研究[J]. 水土保持研究, 2010, 17(4): 78-81, 86.
- [11] Lin Y P, Hong N M, Wu P J, et al. Modeling and assessing land-use and hydrological processes to future land-use and climate change scenarios in watershed land-use planning[J]. Environmental Geology, 2007, 53(3): 623-634.
- [12] 彭建,蔡运龙, P. H. Verburg. 喀斯特山区土地利用/覆被变化情景模拟[J]. 农业工程学报, 2007, 23(7): 64-70, 292.
- [13] 李娜,张丽,闫冬梅,等. 基于CLUE-S模型的天津滨海新区土地利用变化情景模拟[J]. 遥感信息, 2013, 28(4): 62-68.
- [14] 章欣欣,朱顺慈,朱晓铃. 基于Dyna-CLUE的厦门市土地利用变化模拟[J]. 厦门理工学院学报, 2015, 35(3): 68-74, 79.
- [15] 余婷,柯长青. 基于CLUE-S模型的南京市土地利用变化模拟[J]. 测绘科学, 2010, 35(1): 186-188, 164.
- [16] 李闻. 基于CLUE-S模型的土地利用模拟研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2011.
- [17] Fischer, G., F. Nachtergaele, S. Prieler, H. T. van Velthuiszen, L. Verelst, D. Wiberg, 2008. Global Agro-ecological Zones Assessment for Agriculture (GAEZ 2008). IIASA, Laxenburg, Austria and FAO, Rome, Italy.
- [18] 国土资源部地籍管理司,中国土地勘测规划院. 2007 TDT第二次全国土地调查技术规程[G]. 北京: 中华人民共和国国土资源部, 2007.
- [19] Verburg PH, de Koning GHJ, Kok K, Veldkamp A, Bouma J. A spatial explicit allocation procedure for modelling the pattern of land use change based upon actual land use[J]. Ecological Modelling, 1999, 116: 45-61.
- [20] 黄明,张学霞,张建军,等. 基于CLUE-S模型的罗玉沟流域多尺度土地利用变化模拟[J]. 资源科学, 2012, 34(4): 769-776.

(下转第40页)

问题,国外很多公司已经成功发布了城市三维快速建模成果,随着网络、信息技术的快速发展,城市三维模型正逐步成为智慧城市建设的一个重要载体,城市三维模型将成为一种新的基础地理信息数据形式,建议由国土资源管理部门主导开展基于倾斜摄影系统的城市三维模型建模及定期更新工作。采用倾斜摄影系统具有建模速度快、自动化程度高、模型效果逼真等优点,可以有效应对我省城市发展迅速、城市规模面貌日新月异的特点。

### 3.8 手持终端在外业核查中的应用建议

随着手持终端硬件技术的不断提高,基于手持终端的外业核查系统在用户体验、功能方面越来越好,促进了外业核查载体由纸质向数字的转变,应用前景十分广阔,建议在外业调绘、信息核查、兴趣点采集、地理国情普查、土地执法等国土资源管理工作中推广使用。

### 3.9 完善 DOM 获取机制建议

数字正射影像图(DOM)是地面信息在影像图上的真实客观反映,所包含的信息远比地形图丰富,是应用较为广泛的基础地理信息数据之一。现阶段我省配备了多套高效数码航摄系统及集群式影像处理系统,已经具备海量影像数据的快速生产能力,建议我省逐步完善省、市、县三级 DOM 获取机制,缩短 DOM 获取周期,提高获取影像的分辨率,同时逐步完善影像发布、共享机制。

## 4 结束语

随着硬件设施和软件技术的进步,应用现代测绘技术装备服务于我省国土资源管理工作,将会进一步推进我省国土资源管理工作向自动化、高效率、智能化发展。根据《国家地理信息产业发展规划(2014-2020年)》,“数码航摄仪、倾斜摄影仪、机载激光雷达、轻小型合成孔径雷达等传感器,以及高精度定位定向系统与高安全度低空遥感平台”等现代测绘技术装备将得到不断发展和推广应用。

目前,我省测绘单位已经配备了 ADS100 等高效数码航摄仪、像素工厂等集群式影像处理系统、机载 LiDAR 系统、无人机航摄系统、车载移动测量系统等测绘技术装备,还将陆续引进倾斜摄影系统、三维激光扫描系统等现代测绘技术装备。这些技术装备可以为应对中央土地政策与地方需求矛盾、土地违法事件难查处、地质环境监测、保耕地红线、节约集约用地工作压力大等问题提供科学的技术辅助;将在土地利用规划、土地开发整理、土地执法、土地确权、基本农田保护和监测、生态退耕、矿产勘查、矿产开发与监测、地质环境监测、数字国土,以及地理国情监测等国土资源科学管理中发挥越来越重要的作用。测绘部门有条件、有能力为国土资源管理提供全方位的服务。

### 参考文献:

- [1] 王雪娇,洪友堂.机载 LIDAR 技术在快速生产高精度 DEM 中的应用[J].北京测绘,2012(4):46-48.
- [2] 徐德明.加快推动数字城市向智慧城市发展为全面建成小康社会贡献力量[J].中国测绘,2013(1):4-7.
- [3] 朱仁义.宽幅 InSAR 技术在地质灾害中的综合形变监测应用研究[D].西安:长安大学,2012.
- [4] 徐进军,王海成,罗喻真等.基于三维激光扫描的滑坡变形监测与数据处理[J].岩土力学,2010,31(7):2188-2196.
- [5] 高娇娇.高精度无人机遥感地质灾害调查应用研究[D].北京:北京交通大学硕士论文,2010.
- [6] 王树文,刘俊卫.遥感技术在地理国情监测中的应用与研究——以天津市为例[J].测绘通报,2012(8):51-54.
- [7] 李强,邓辉,周毅.三维激光扫描在矿区地面沉陷变形监测中的应用[J].中国地质灾害与防治学报,2014,25(1):119-124.

[编辑:栾丽杰]

(上接第 36 页)

- [21] 范一大,史培军,辜智慧.行政单元数据向网格单元转化的技术方法[J].地理科学,2000,24(1):105-108.
- [22] 张永民,赵士洞.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.
- [23] 冯仕超,高小红,顾娟,等.基于 CLUE-S 模型的湟水流域土地利用空间分布模拟[J].生态学报,2013,33(3):985-997.
- [24] Pontius R G, Schneider L C. Land-cover change model validation by an ROC method for the Ipswich watershed,

Massachusetts, USA [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2001, 85(1): 239-248.

- [25] 刘森,胡远满,常禹,等.土地利用模型时间尺度预测能力分析——以 CLUE-S 模型为例[J].生态学报,2009,29(11):6110-6119.
- [26] 杨秀丽,黄玲玲,成建梅,等.深圳西海岸湿地资源遥感动态监测[J].安全与环境工程,2008,15(1):38-41.

[编辑:栾丽杰]