

基于邻域相关的漓江流域土地利用多情景模拟 与景观格局变化

王 祺, 蒙古军, 毛熙彦

(北京大学城市与环境学院, 地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871)

摘要: 建模和情景分析是土地利用变化研究的核心内容。选择旅游业高速发展的漓江流域为研究区, 利用基于邻域相关构建空间权重的 Auto-logistic 模型代替传统的 Logistic 回归, 构建 CLUE-S 模型, 对研究区 2020 年土地利用格局进行多情景模拟, 并通过景观格局指数对比分析不同发展情景下的景观格局特征。结果表明: ① 利用邻域相关构建空间权重的 Auto-logistic 模型在预测土地空间分布概率方面较传统的 Logistic 模型具有更好的预测能力; ② 建设用地和草地高度破碎化、水域面积不稳定是漓江流域景观脆弱性的主要来源; ③ 旅游地发展需要稳定、多样的景观格局。一方面要合理控制人为活动主导的用地类型对景观格局的冲击, 另一方面应兼顾景观多样性, 实现用地在社会经济和生态环境之间的协调。

关键词: 土地利用变化; Auto-logistic 回归; CLUE-S 模型; 邻域分析; 情景模拟; 漓江流域
DOI: 10.11821/dlyj201406008

1 引言

近年来, 旅游业在全球范围内快速发展。2010 年全球游客数量达到 93.9 亿人次, 旅游收入达 9280 亿美元, 比 2009 年增长约 5%^[1]。2005 年以来, 全球土地计划 (Global Land Project, GLP) 的推出进一步确认了土地利用/覆被变化 (LUCC) 以“量测、模拟和理解人类—环境耦合系统”为研究目标, 主要包括识别人类—环境复合系统变化的驱动力、变化特征及其后果, 强调从土地系统动力学、土地变化的影响和土地可持续性的集成分析与模拟三个维度展开土地变化研究^[2-5]。作为以自然环境为载体、以人类活动为主体的旅游活动已经成为影响土地利用/覆被变化和生态格局的重要方式。旅游业为区域经济发展 (特别是旅游地) 奠定坚实基础, 而旅游活动将对区域生态环境产生潜在影响。一方面, 旅游活动本身是影响土地利用的人类活动方式; 另一方面, 旅游用地是一系列用地类型的有机结合。因此, 以旅游地作为研究样本, 能够较好地揭示从“人类—环境耦合系统”的角度理解土地变化过程的价值及重要性。通过识别旅游用地变化及管理方式的自然、经济和社会驱动因子, 建立区域性的 LUCC 经验模型, 为全球土地利用/覆被变化研究提供区域性案例, 有助于对土地利用变化的“人类—环境”复合系统特征分析, 提高对土地利用/覆被变化过程的理解^[6-8]。

模型模拟和情景分析是研究土地利用格局、土地利用动态变化特征和预测土地动态走向的有效手段。其中, 空间显示模型 (Spatial Explicit Model)、CLUE-S 模型、系统动力学模型 (System Dynamic Model)、元胞自动机 (Cellular Automata)、主体与多主体模

收稿日期: 2013-10-30; 修订日期: 2014-02-23

基金项目: 国家科技支撑课题 (2012BAC16B04); 国家自然科学基金项目 (41371097)

作者简介: 王祺 (1990-), 男, 硕士, 主要从事资源环境管理研究。E-mail: wangqi901025@pku.edu.cn

通讯作者: 蒙古军 (1971-), 男, 博士, 副教授, 主要从事资源环境管理研究。E-mail: jijunm@pku.edu.cn

型 (Agent Based or Multi-agent Based Model) 等因其鲜明的特点被广泛应用于土地变化模拟研究中^[9-13]。基于 Logistic 回归的空间显示模型是筛选和识别土地利用变化驱动因素、揭示土地空间分布格局、预测土地变化概率的重要手段; 系统动力学模型在分析与预测土地数量结构变化方面具有很强的适用性; 元胞自动机以离散的像元为分析基础, 强调对转换规则的识别与设定, 能够充分表达土地利用变化过程中的邻域关系, 因而广泛应用于土地格局动态变化的分析与模拟中; 多主体模型能够在土地变化模拟过程中考虑人为因素的影响, 体现出复杂决策过程在用地变化过程中的作用。与上述模型相比, CLUE-S 模型在综合不同层面 (生态环境和社会经济)、不同时空尺度下的土地变化驱动要素, 反映不同地类的竞争关系等方面具有优势^[14], 被广泛运用于土地利用变化模拟的研究中, 其范围包括不同尺度的热点研究区域和生态脆弱区^[15-20]。然而在实际运用过程中, CLUE-S 模型也暴露出模型在处理参数敏感性、邻域效应和空间自相关等方面问题的不足^[21,22]。邻域效应和空间自相关是土地利用演变过程空间异质性的体现^[23], 二者反映出距离的空间变化对土地位置和影响要素的内在影响。已有一系列研究借助地理加权回归、空间自回归、元胞自动机等模型考虑土地变化过程中邻域效应和空间自相关的作用。由于 CLUE-S 模型对于土地利用概率的判断利用 Logistic 回归实现, 这就为通过地理加权回归或空间自回归等改良的回归模型对 CLUE-S 模型进行改进提供了可能, 从而实现邻域效应和空间自相关的体现。例如, 段增强等在回归分析中引入了邻域丰度因子和交互因子, 以考察邻域各类土地类型间的作用^[24]; 吴桂平等引入了 Auto-logistic 方法, 在传统 Logistic 模型的基础上考察了空间权重的影响^[25]。研究实践反映出合理考虑邻域效应与空间自相关的影响有助于提高 CLUE-S 模型的模拟精度。考虑到旅游用地涉及不同类型用地之间的有机结合, 涉及社会经济与生态环境等多个层面地类之间的协调, 因此借助 CLUE-S 模型在反映用地竞争关系方面的优势, 能够在模拟过程中从全局需求的角度充分考虑各类用地的空间竞争, 实现对用地的合理分配, 从而为模拟不同情景下的旅游地土地变化特征提供支持。但是, 旅游地土地利用变化同样具有高度的自组织性, 如建设用地的扩张存在的集聚效应等。为此有必要对 CLUE-S 模型进行必要的改进, 在利用其表现竞争性的基础上, 增加对自组织性的考量。所以, 研究尝试利用 Auto-logistic 回归替代传统 CLUE-S 模型中的 Logistic 回归, 对用地概率进行评估, 并且在 Auto-logistic 模型的空间权重设置上, 引入邻域因子作为空间权重的设定依据, 以体现出在用地变化过程中除了竞争性之外的自组织性。

基于此, 本文选择生态环境变异敏感度较高的桂林漓江流域, 通过引入邻域因子构建空间权重形成 Auto-logistic 回归模型, 评估不同用地类型的转换概率。在此基础上, 通过不同目标导向下的情景设定, 对比不同情景下的土地利用格局差异, 考察旅游区包括旅游活动在内的各类人为活动方式对土地利用生态格局的影响, 为漓江流域土地持续利用和生态系统管理提供科学依据。

2 研究区概况与数据来源

漓江流域地处广西壮族自治区东北部桂林市境内、南岭山系西南部。地理坐标为 24°38'~25°54'N、110°8'~110°43'E, 总面积 5306.4 km²。地势由北向南倾斜, 以低山、丘陵、岩溶地貌为主。地处亚热带季风气候区, 气候温暖湿润, 雨量充沛, 年均降水量为 1367.5~1932.9 mm。水资源丰富, 植被覆盖度高。截至 2010 年, 流域总人口达到 232 万人, 占全市总人口数的 44.66%, 地区生产总值 6.79×10⁹ 元, 三产结构比为 12.3:44.8:

42.9。漓江流域是桂林旅游资源集中区，是一个以旅游发展带动经济发展的典型地区。2010年，流域范围内区县旅游总收入为 1.59×10^9 元，接待旅游人数突破2000万人次。

研究中使用的土地利用数据以漓江流域1989年、2000年和2010年Landsat TM和ETM+遥感影像为基础，利用ENVI 4.7完成人工目视解译与计算机遥感图像自动解译分类，提取分辨率为 $150 \text{ m} \times 150 \text{ m}$ 的土地覆被信息，并将用地类型分为耕地、林地、草地、水域和建设用地等五类，解译结果的精度检验采取交叉检验的方式，精度为0.85（图1）。行政边界、道路、河流、居民点等来自中国环境科学院提供的基础地理信息数据库，比例尺为1:25万。DEM数据来自国家科学数据服务平台，分辨率为 $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$ ；坡度和海拔从DEM数据提取获得。社会经济数据来自2001年、2011年《桂林经济社会统计年鉴》和2001年、2011年桂林市政府工作报告。景点以3A级以上旅游资源为主，根据相关图件数字化获取其空间分布图。部分约束指标与发展目标数据来源于《桂林市土地利用总体规划》（2006-2020年）、《桂林漓江风景名胜区总体规划》（2006-2025年）。

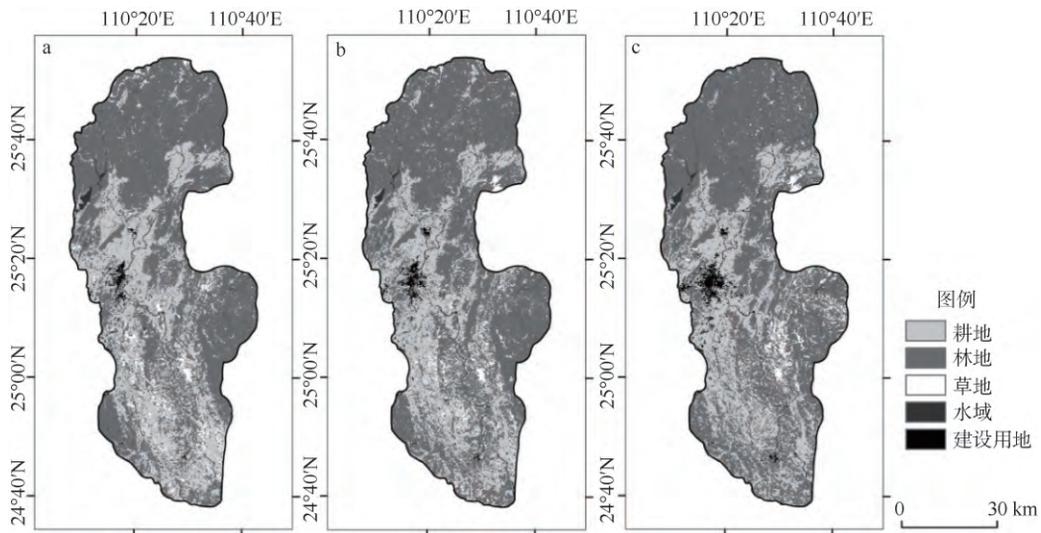


图1 漓江流域1989年(a)、2000年(b)、2010年(c)土地利用图

Fig. 1 Land use map of the Lijiang River Basin in 1989, 2000 and 2010

3 研究方法

3.1 CLUE-S模型

CLUE-S模型由非空间模块和空间模块组成^[26]。非空间模块作为单独输入到模型中的模块，不受空间环境的影响。通过对土地利用变化起驱动作用的非空间因素（如经济、社会、人口、政策等）的分析，计算研究区对不同土地利用类型的需求变化。空间模块根据各影响因子计算各空间单元的概率，通过概率大小对土地利用进行空间分配，从而实现土地利用时空变化的动态模拟。文中CLUE-S模型参数设置如下：

(1) 空间决策和限制区域：区域约束性文件即为漓江流域范围，限制区域为猫儿山国家自然保护区范围和《桂林漓江风景名胜区总体规划》（2006-2025年）中特级保护区、一级保护区、二级保护区和三级保护区。

(2) 土地利用类型转换规则：根据1989-2000年、2000-2010年土地利用变化率对比

设定耕地、林地、草地、水域和建设用地的转换弹性分别为0.8、0.9、0.5、0.9、0.5。1和0之间的数值不同表明转换可能性由小变大。转移次序是通过1989-2000年、2000-2010年土地利用转移矩阵来定义各类型之间能否实现转变，可以转变设定为1，不能转变设定为0。

(3) 土地需求：CLUE-S模型中相对独立的模块。以2000年和2010年土地利用数据作为模拟的需求数据，其间各年份的土地利用数据利用二次多项式内插得到。

(4) 空间特征：计算各个用地类型在空间上的分布概率，其理论基础是土地利用类型发生转变的概率最大的位置。分别利用Logistic回归和Auto-logistic回归进行空间特征分析，并对精度进行对比。

3.2 基于邻域相关的Auto-logistic回归模型

CLUE-S模型采用二元Logistic逐步回归对各栅格单元可能出现某种土地利用类型的概率进行计算。对于Logistic回归方程的预测能力一般利用Pontius提出的ROC方法进行检验^[27]。但是，土地利用数据往往存在空间依赖关系，即所谓的空间自相关。如果采用传统的Logistic回归来对土地利用变化及影响因子进行相关回归分析，则残差有可能存在较强的自相关。Auto-logistic回归模型由Besag于1972年首先提出^[28]，是在传统Logistic回归模型基础之上引入了空间权重形成Auto-logistic回归模型。一般表达式为：

$$p_i = \frac{\exp\left(\beta_0 + X\beta + r \sum_{j=1}^n y_j w_{ij}\right)}{1 + \exp\left(\beta_0 + X\beta + r \sum_{j=1}^n y_j w_{ij}\right)} \quad (1)$$

式中：X代表由一系列影响因素构成的向量； w_{ij} 代表空间权重值； y_i 代表事件的状态，为二值变量。

其中，空间权重的设置方式是多样化的。在社会经济研究中，可根据相邻状态、相邻空间点的距离函数等方式构建空间权重矩阵^[25,26-31]。本研究中，则考虑结合土地变化过程中的邻域效应，借助邻域因子构建空间权重矩阵。基本理念是每一个土地单元的状态是否发生变化，不仅取决于其自身所受到的影响，也同时受到一定周边范围内的用地状态的影响^[31,32]。由于邻域分析是通过特定栅格单元与邻近栅格之间的数量关系，分析土地利用类型之间的相关程度，因此邻域在表述不同地物之间的空间相互关系上（如空间集聚、空间排斥等）具有独特的优势^[33,34]，实际研究中也验证了邻域因子在表征土地空间异质性和相关性特征方面的有效性^[35,36]。综上，空间权重设定为：

$$w_{ij} = \frac{\sum_{n=1}^N S_{jn}}{N} \quad (2)$$

式中： S_{jn} 为栅格j周围每个邻域栅格与j的相似性，用地类型相同为1，否则为0；N为邻域栅格j的邻域总数。

综上所述，研究运用ARCGIS 9.3软件中邻域统计分析模块，计算出各土地利用类型的空间权值。考虑到自然和社会经济因子对用地类型的综合作用，选取海拔、坡度、距河流距离、距道路距离、距农村居民点距离、距城镇距离、距旅游景点距离、人口密度和单位面积旅游收入等9个因素作为影响因子，并进行回归分析。

3.3 情景分析

情景分析旨在描述和分析事物发展的各种可能性，对比不同发展路径下的状态，从而为决策提供依据。漓江流域社会经济和自然环境均存在不确定性。一方面，漓江流域

处于以旅游业带动为主的经济发展高峰时期;另一方面,漓江流域喀斯特地区也面临着生态退化问题。基于此,结合《桂林市土地利用总体规划》(2006-2020年)和《桂林漓江风景名胜区总体规划》(2006-2025年)等规划文本中对未来各地类在不同规划方向上的数量要求,设定了自然增长情景、土地规划情景、资源保护情景和旅游开发情景四种情景模式(表1)。

表1 漓江流域不同情景下2020年土地利用需求(hm²)

Tab. 1 Land use demand in different scenarios of the Lijiang River Basin (hm²)

情景类型	情景描述	耕地	林地	草地	水域	建设用地
自然增长	各地类仍以2000-2010年变化率变化	153510.00	323070.00	24140.00	6489.50	23426.00
土地规划	森林覆盖率68.3%,建设用地3.9%,水域稳定	132039.27	362158.73	4589.47	11153.25	20694.78
资源保护	森林覆盖率70%,水面恢复至2000年水平	114017.44	371444.85	12173.46	13713.75	19286.00
旅游开发	建设用地4.4%,水域、林地等兼顾	159190.65	318381.30	20694.78	11143.35	21225.42

4 结果分析

4.1 Auto-logistic回归结果

为了进行回归结果的对比,分别在传统Logistic回归和Auto-logistic回归情况下,采用SPSS 19.0软件的Binary Logistic对各土地利用类型和驱动因子进行了空间逐步回归分析,其中未通过0.05显著性水平检验的系数标记为“-”(表2、表3)。

由表2、3可知,基于Auto-logistic回归模型对林地、草地、水域和建设用地进行概率预测的ROC值,比之传统logistic回归模型,分别从0.886、0.715、0.873、0.923提高到了0.929、0.965、0.974、0.98,反映出在CLUE-S模型中使用Auto-logistic模型替代Logistic模型能够有效提高其对用地分布概率的预测能力。

4.2 CLUE-S模型及验证

完成各模块和相应参数文件的设定后,运行CLUE-S模型。Kappa指数可以定量地反映模拟效果的精度^[27]。以研究区2000年土地利用图为基期模拟2010年土地利用图,并对2010年土地利用现状图和模拟图(图2)用Kappa指数进行检验。基于Logistic回归和

表2 漓江流域土地利用类型的Logistic回归结果

Tab. 2 Results of logistic regression for different land use types of the Lijiang River Basin

影响因子	耕地	林地	草地	水域	建设用地
海拔	-0.012679	0.002956	0.000819	-0.007374	-0.008376
坡度	-0.126929	0.128582	-0.014261	-	-0.088184
距河流距离	-0.000142	0.000427	0.000779	-0.004004	-
距道路距离	-0.000387	0.000278	-	0.000481	-0.002433
距农村居民点距离	-0.000585	0.000282	-	-	0.001117
距城镇距离	-0.000059	0.000099	0.000054	-	-0.000177
距景点距离	0.000034	0.00001	-0.000033	-0.000025	-0.000122
人口密度	-	-0.011235	0.024738	-0.013122	-0.032003
单位面积旅游收入	-	0.000001	-0.000003	0.000002	0.000004
常数	4.44656	-1.065399	-7.357095	1.76868	4.533786
ROC值	0.92	0.886	0.715	0.873	0.923

表3 漓江流域土地利用类型的 Auto-logistic 回归结果

Tab. 3 Results of Auto-logistic regression for different land use types of the Lijiang River Basin

影响因子	耕地	林地	草地	水域	建设用地
海拔	-0.01219	0.00367	0.00441	-0.00793	-0.00965
坡度	-0.11915	0.16582	0.04642	-	-0.17295
距河流距离	-0.00021	0.00057	0.00107	-0.00372	-
距道路距离	-0.00045	0.00045	0.00044	0.0006	-0.0015
距农村居民点距离	-0.00057	0.00014	0.00025	0.00045	0.00111
距城镇距离	-0.00008	0.00023	0.00007	-0.00011	-0.00026
距景点距离	0.00002	-0.00002	-0.00007	-	-0.00012
人口密度	-	-	-	-	-0.04478
单位面积旅游收入	-	-	-	-	0.00001
空间权重	-0.63532	5.45073	-10.0384	-13.9576	-6.88912
常数	5.90336	-7.76827	-2.1214	2.53811	9.15952
ROC值	0.918	0.929	0.965	0.974	0.98

Auto-logistic 回归建立的 CLUE-S 模型模拟结果的 Kappa 指数分别为 0.69 和 0.71，都表明模型可以接受，且 Auto-logistic 回归分析下模拟精度相对较高。说明基于 Auto-logistic 回归建立的 CLUE-S 模型更能较好地模拟漓江流域土地利用/覆被变化，并且可以将其应用于漓江流域不同情景下的土地利用变化模拟。

4.3 情景模拟及生态效应分析

基于 Auto-logistic 回归建立的 CLUE-S 模型，以 2010 年土地利用数据为基础，结合四种情景目标，对研究区 2020 年土地利用格局进行模拟（图 3）。可以看出，在自然增长情景下，水域大量减少，建设用地和耕地迅速扩张；土地规划情景下草地减少明显；资源保护情景和旅游开发情景主要区别在于建设用地、耕地和草地的差别，表现出不同侧重的发展方向。

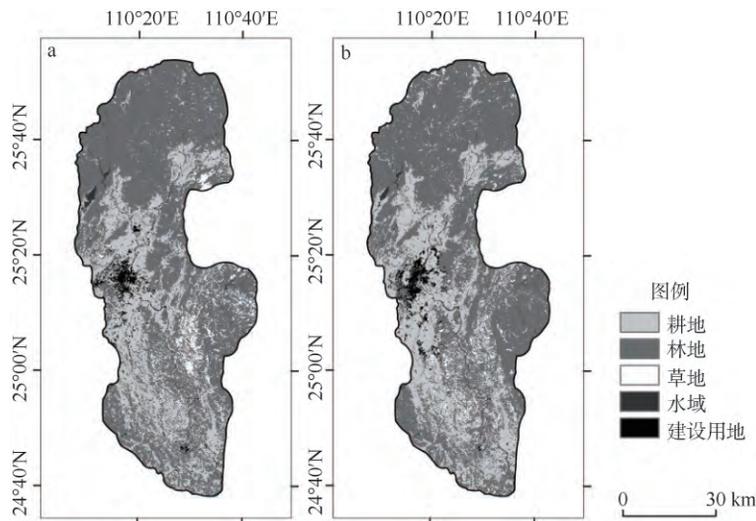


图2 漓江流域2010年土地利用现状图 (a) 和基于 Auto-logistic 回归的模拟图 (b)

Fig. 2 Land use map (a) and simulation map (b) based on Auto-logistic regression of the Lijiang River Basin in 2010

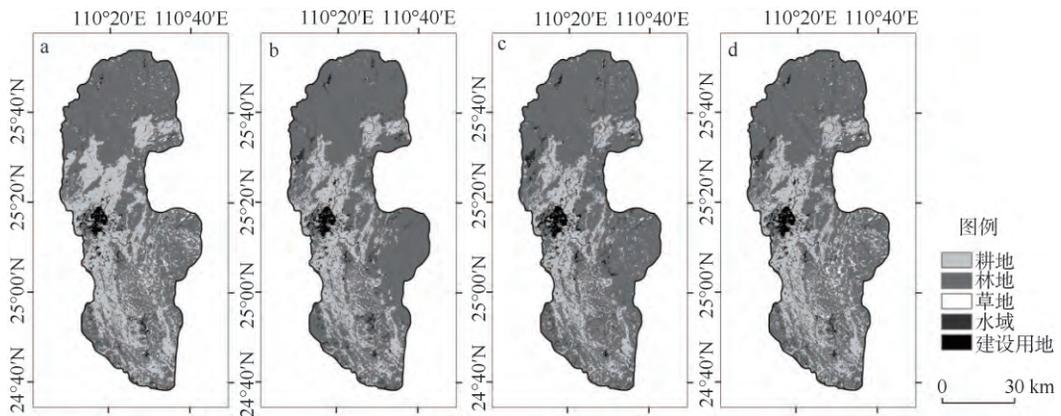


图3 漓江流域2020年土地利用模拟图

(a) 自然增长情景; (b) 土地规划情景; (c) 资源保护情景; (d) 旅游开发情景

Fig. 3 Land use simulation maps of the Lijiang River Basin in 2020

(a) natural growth scenario; (b) land planning scenario; (c) resource conservation scenario; (d) tourism development scenario

情景模拟在景观格局上生态效应的差异，能够成为决策者选择未来发展模式的重要依据。景观格局的生态效应可以通过格局分析解释其蕴含的生态意义^[37,38]。景观异质性是判断景观生态系统稳定性和安全性的重要标志。借鉴相关研究^[39]，斑块尺度上的破碎度(FN)、斑块密度(PD)、景观形状指数(LSI)、分维度(FD)包含斑块数量、大小、周长、面积等信息，表示结构上的破碎程度和形状规则的程度；景观尺度上的蔓延度指数(CONTAG)、散布与并列指数(IJI)、香农多样性指数(SHDI)和香农均度指数(SHEI)包含团聚延展、相邻、多样性、均度等信息，功能上反映了斑块之间的组合程度和稳定程度。本文选用以上8种景观格局指数进行漓江流域景观格局评价，并利用Fragstats 3.3软件计算。

斑块尺度上(表4)，不同用地类型的景观格局指数差异较大。各情景下草地的破碎度(FN)、斑块密度(PD)和景观形状指数(LSI)都相对较高，分维度(FD)小，形状复杂，是景观脆弱性的主要来源。此外，水域和建设用地也有较高的破碎化程度，特别是建设用地的斑块密度和景观形状指数均较高，说明变化较快的用地类型景观格局趋于不稳定，破碎化相对严重。

在此基础上，对比不同情景下的景观格局可以发现，土地规划情景下耕地和建设用地表现出较高的破碎化程度，体现出按照现有的耕地和建设用地规划数量需求和空间管制措施，并不能够有效地制约人类活动主导的用地类型对区域景观格局所造成的潜在影响。近年来，桂林市为了切实保护自然旅游资源核心区的漓江流域，力求通过漓江风景名胜保护区规划保护，以及将城市发展重心外迁至漓江流域范围之外的临桂新区，从而减轻漓江沿岸的城市建设压力。但土地规划情景下的景观格局表明，在控制对建设用地和耕地的数量需求的同时，寻求合理的空间规制措施同样十分重要，如何避免在满足建设用地扩张和保护耕地的同时导致景观的破碎化现象，是在土地利用过程中需要注意的问题。与此类似，资源保护情景下林地的破碎程度和斑块密度有所增加，分维度降低，形状趋于简单，反映出单纯的总量控制并不能实现区域林地景观的有效保护。需要加强对人为因素对主导用地类型变化的空间引导，实现用地在空间上的合理分配。在旅游开发情景下突出表现为草地和水域异质斑块数量较多，说明在现有的旅游发展用地目标下，

表4 漓江流域不同情景下斑块尺度景观指数比较

Tab. 4 Landscape indices of Lijiang River Basin based on class-level in different scenarios

情景类型		耕地	林地	草地	水域	建设用地
自然增长情景	FN	0.0075	0.0021	0.1247	0.1361	0.1138
	PD	0.2180	0.1306	0.5737	0.1896	0.4461
	LSI	44.2710	43.3979	65.9665	40.1391	52.4352
	FD	1.0296	1.0360	1.0232	1.0294	1.0195
土地规划情景	FN	0.0088	0.0028	0.1183	0.1069	0.1228
	PD	0.2173	0.1926	0.1176	0.2278	0.4594
	LSI	52.6012	36.2491	31.5155	43.1972	52.4362
	FD	1.0321	1.0289	1.0249	1.0313	1.0191
资源保护情景	FN	0.0086	0.0024	0.1774	0.1072	0.1159
	PD	0.1822	0.1679	0.4668	0.2542	0.4214
	LSI	48.1317	39.1990	56.6899	45.6333	48.8656
	FD	1.0310	1.0299	1.0182	1.0313	1.0191
旅游开发情景	FN	0.0079	0.0030	0.1183	0.1088	0.1156
	PD	0.1939	0.1901	0.6145	0.2657	0.4323
	LSI	50.7081	46.8481	68.8784	46.4605	51.4309
	FD	1.0316	1.0287	1.0246	1.0304	1.0194

可能导致生态用地的斑块规则性降低、自然度减小。鉴于旅游用地的多功能特征,要求在旅游开发的同时注意生态用地的保护和合理布局,有利于同时提高旅游用地的经济效益和生态效益。

景观尺度上(表5),土地规划情景下蔓延度指数(CONTAG)最大,反映出在适当的人为干预能够使景观由少数聚集的大斑块组成,能够有效规范土地利用的空间形态,避免景观的过度分散。旅游开发情景下的散布与并列指数(IJI)、香农多样性指数(SHDI)和香农均度指数(SHEI)达到最大,表明在斑块之间组合程度合理,景观格局具有最大的多样性以及最均匀的分布格局。在旅游开发情景下,蔓延度指数(CONTAG)较低也说明了旅游开发应该重视土地利用的空间形态的规范化,避免由于人为活动而导致的区域土地利用破碎化现象的加剧。总体上,旅游对资源和设施组合的多样化特征决定了旅游地发展需要稳定和多样的景观格局,才能在满足旅游发展需求的同时,实现景观空间结构的合理布局,降低各种不稳定性和风险,从而使得旅游活动具有可持续性。在区域土地利用层面上,旅游景观的稳定依赖于建设用地、农用地和生态用地景观的合理组合,其多样性能保证旅游用地不因自然或人类环境的不稳定而造成旅游自然资源的破坏,或者抑制旅游经济的合理发展。

表5 漓江流域不同情景下景观尺度的景观指数比较

Tab. 5 Landscape indices of Lijiang River Basin based on landscape-level in different scenarios

情景类型	CONTAG	IJI	SHDI	SHEI
自然增长情景	51.1352	75.0935	0.9890	0.6145
土地规划情景	57.2372	68.8971	0.8568	0.5324
资源保护情景	55.5696	76.1259	0.8823	0.5482
旅游开发情景	49.3311	77.3404	0.9986	0.6205

5 结论与讨论

旅游地是一系列用地类型的有机结合, 面临着在生态环境用地和社会经济用地之间的权衡与协调。本文以漓江流域为例, 利用基于邻域相关构建空间权重的 Auto-logistic 模型代替传统的 Logistic 回归, 构建 CLUE-S 模型用于模拟不同发展情景下的漓江流域景观格局动态变化, 并通过景观格局指数对比分析了不同发展情景下的景观格局特征。主要结论如下:

(1) 利用邻域相关构建空间权重的 Auto-logistic 模型在预测土地空间分布概率方面较传统的 Logistic 模型具有更好的预测能力, 将其引入 CLUE-S 模型中, 能够使得 CLUE-S 模型在表达不同土地利用类型的竞争关系的同时, 体现出土地变化过程中的自组织性。

(2) 研究区建设用地和草地的破碎化严重、水域面积的不稳定是漓江流域景观脆弱性的主要来源。在以山水风景资源为依托的漓江流域旅游发展过程中, 面临着在农林经济发展、城市建设和生态环境保护之间进行用地权衡。在这一过程中, 不但要求对用地需求的合理安排, 更重要的是需要对各类用地变化进行合理的空间规划, 才能够有效提高旅游用地的生态和经济效益。

(3) 旅游地的发展需要稳定和多样的景观格局。稳定性意味着需要合理控制人为活动主导的用地类型对景观格局造成的冲击, 通过集中连片等方式合理利用农地和城市用地, 充分发挥其规模效益, 避免土地利用过于分散和破碎, 能够有效提升土地景观的稳定性。多样性则与旅游发展的特征相契合。旅游发展要求旅游资源、基础设施和服务设施等方面的综合。在土地利用方面表现出景观组合的多样性。为此, 合理的旅游地景观应考虑其对多样性的基本要求, 实现土地利用在社会经济发展和生态环境保护之间的协调, 不至于因为人为活动主导的用地类型过分扩张而破坏生态环境基础, 或过分强调生态环境基础而限制了旅游经济发展的合理空间。

参考文献(References)

- [1] World Tourism Organization. Annual Report 2011. UNWTO, Madrid, 2012.
- [2] Turner II B L, Lambin E F, Reenberg A. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. PNAS, 2007, 104(52): 20666-20671.
- [3] Turner II B L, Skole D, Fisher G, et al. Land-use and land-cover change: Science/research plan. IGBP Report No.35 and HDP Report No.7. Stockholm and Geneva, 1995.
- [4] Moran E F. News on the land project. Global Change News Letter, 2003, (54): 19-21.
- [5] Moran E F, Ojima D, Buchmann N, et al. Global land project: Science plan and implementation strategy. IGBP Report No.53/HDP Report No.19, 2005.
- [6] 陈志钢, 保继刚. 典型风景名胜城市土地利用动态变化及其影响机制研究: 以广西壮族自治区阳朔县为例. 地理科学, 2010, 30(4): 544-550. [Chen Zhigang, Bao Jigang. Land use change dynamics and its determining mechanism in a typical tourist city: The case of Yangshuo County, Guangxi. Scientia Geographica Sinica, 2010, 30(4): 544-550.]
- [7] 杨俊, 席建超, 解鹏, 等. 基于 CA 模型旅游小镇增长的时空模拟与应用: 以河北三坡镇为例. 地理研究, 2013, 32(5): 915-923. [Yang Jun, Xi Jianchao, Xie Peng, et al. Spatio-temporal simulation and application of the tourist town growth based on cellular automata model: A case study of Sanpo Town in Hebei Province. Geographical Research, 2013, 32(5): 915-923.]
- [8] Cheong S M, Brown D G, Kok K, et al. Mixed methods in land change research: towards integration. Transactions of the Institute of British Geographers, 2012, 37(1): 8-12.
- [9] 何春阳, 史培军, 李景刚, 等. 中国北方未来土地利用变化情景模拟. 地理学报, 2004, 59(4): 599-607. [He Chunyang, Shi Peijun, Li Jinggang, et al. Scenarios simulation land use change in the northern China by system dynamic model. Acta Geographica Sinica, 2004, 59(4): 599-607.]
- [10] Li X, Yeh A G. Modeling sustainable urban development by the integration of constrained cellular automata and GIS. In-

- ternational Journal of Geographical Information Science, 2000, 14(4): 131-152.
- [11] Zheng X, Zhao L, Wang W, et al. A coupled model for simulating spatio-temporal dynamics of land-use change: A case study in Changqing, Jinan, China. *Landscape and Urban Planning*, 2012, 106(1): 51-61.
- [12] An L, Linderman M, Qi J, et al. Exploring complexity in a human-environment system: An agent-based spatial model for multidisciplinary and multi-scale integration. *Annals of the Association of American Geographers*, 2005, 95(1): 54-79.
- [13] 陈海, 王涛, 梁小英, 等. 基于MAS的农户土地利用模型构建与模拟: 以陕西省米脂县孟岔村为例. *地理学报*, 2009, 64(12): 1448-1456. [Chen Hai, Wang Tao, Liang Xiaoying, et al. Simulation and application of household's LUCC based on a multi-agent system: A case study for Mengcha Village of Mizhi County of Shaanxi Province. *Acta Geographica Sinica*, 64(12): 1448-1456.]
- [14] 蒙吉军, 严汾, 赵春红. 大城市边缘区土地利用变化模拟研究: 以北京市昌平区为例. *应用基础与工程科学学报*, 2010, 18(2): 197-208. [Meng Jijun, Yan Fen, Zhao Chunhong. Land use change simulation on the edge of metropolis: A case study of Changpin district in Beijing. *Journal of Basic Science and Engineering*, 2010, 18(2): 197-208.]
- [15] Veldkamp A, Fresco L O. CLUE: A conceptual model to study the conversion of land use and its effects. *Ecological Modeling*, 1996, 85(2-3): 253-270.
- [16] Veldkamp A, Fresco L O. CLUE-CR: An integrated multi-scale model to simulate land use change scenarios in Costa Rica. *Ecological Modeling*, 1996, 91(1-3): 231-248.
- [17] Verburg P H, Veldkamp W, Limpiada R, et al. Modeling the spatial dynamics of regional land use: The CLUE-S model. *Environmental Management*, 2002, 30(3): 391-405.
- [18] 梁友嘉, 徐中民, 钟方雷. 基于SD和CLUE-S模型的张掖市甘州区土地利用情景分析. *地理研究*, 2011, 30(3): 564-576. [Liang Youjia, Xu Zhongmin, Zhong Fanglei. Land use scenario analyses by based on system dynamic model and CLUE-S model at regional scale: A case study of Ganzhou district of Zhangye city. *Geographical Research*, 2011, 30(3): 564-576.]
- [19] 田义超, 任志远. 基于CLUE-S模型的黄土台塬区土地利用变化模拟: 以陕西省咸阳市台塬区为例. *地理科学进展*, 2012, 31(9): 1224-1234. [Tian Yichao, Ren Zhiyuan. Land use change simulations in loess hilly areas based on CLUE-S model: A case study in Xianyang loess tableland areas of Shaanxi Province. *Progress in Geography*, 2012, 31(9): 1224-1234.]
- [20] 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. *生态学报*, 2013, 33(3): 985-997. [Feng Shichao, Gao Xiaohong, Gu Juan, et al. Land use spatial distribution modeling based on CLUE-S model in the Huangshui River Basin. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(3): 985-997.]
- [19] Syartinilia S T. GIS-based modeling of Javan Hawk-Eagle distribution using logistic and autologistic regression models. *Biological Conservation*, 2008, 141(3): 756-769.
- [21] 吴健生, 冯磊, 高阳, 等. CLUE-S模型应用进展与研究改进. *地理科学进展*, 2012, 31(1): 3-10. [Wu Jiansheng, Feng Zhe, Gao Yang, et al. Recent progresses on the application and improvement of the CLUE-S model. *Progress in Geography*, 2012, 31(1): 3-10.]
- [22] 朱利凯, 蒙吉军. 国际LUCC模型研究进展及趋势. *地理科学进展*, 2009, 28(5): 782-790. [Zhu Likai, Meng Jijun. Advance in and tendencies of land use and cover change model. *Progress in Geography*, 2009, 28(5): 782-790.]
- [23] 宇林军, 孙丹峰, 彭仲仁, 等. 基于局部化转换规则的元胞自动机土地利用模型. *地理研究*, 2013, 32(4): 671-682. [Yu linjun, Sun Danfeng, Peng Zhongren, et al. A cellular automata land use model based on localized transition rules. *Geographical Research*, 2013, 32(4): 671-682.]
- [24] 段增强, Verburg P H, 张凤荣, 等. 土地利用动态模拟模型的构建及其应用: 以北京市海淀区为例. *地理科学*, 2004, 59(6): 1037-1047. [Duan Zengqiang, Verburg P H, Zhang Fengrong, et al. Construction of a land-use change simulation model and its application in Haidian district, Beijing. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(6): 1037-1047.]
- [25] 吴桂平, 曾永年, 冯学智, 等. CLUE-S模型的改进与土地利用变化动态模拟: 以张家界市永定区为例. *地理研究*, 2010, 29(3): 460-470. [Wu Guiping, Zeng Yongnian, Feng Xuezhi, et al. Dynamic simulation of land use change based on the improved CLUE-S model: A case study of Yongding County, Zhangjiajie. *Geographical Research*, 2010, 29(3): 460-470.]
- [26] 摆万奇, 张永民, 阎建忠, 等. 大渡河上游地区土地利用动态模拟分析. *地理研究*, 2005, 24(2): 206-212. [Bai Wanqi, Zhang Yongmin, Yan Jianzhong, et al. Simulation of land use dynamics in the upper reaches of the Dadu river. *Geographical Research*, 2005, 24(2): 206-212.]
- [27] Pontius R G. Quantification error versus location error in comparison of categorical maps. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 2000, 66(8): 1101-1116.

- [28] Besag J. Spatial interaction and the statistical analysis of lattice systems. *Journal of the Royal Statistical Society*, 1974, 36: 192-236.
- [29] 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. *自然资源学报*, 2013, 28(2): 336-348. [Dai Shengpei, Zhang Bo. Land use change scenarios simulation in the middle reaches of the Heihe Rivrer Basin based on CLUE-S model: A case study of Ganzhou district of Zhangye city. *Journal of Natural Resources*, 2013, 28(2): 336-348.]
- [30] 刘荣. 哈巴河县土地利用格局多尺度空间自相关分析与模拟研究. 乌鲁木齐: 新疆大学硕士学位论文, 2010. [Liu Rong. Multi-scale spatial autocorrelation analysis and simulation of land use patterns in Habahe County. Urumq: Master Dissertation of Xinjiang University, 2010.]
- [31] 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. *地理研究*, 2010, 29(5): 863-872. [Ke Xinli, Deng Xiangzheng, He Shujin. Scale sensitivity and its causality for geo-cellular Automata modeling. *Geographical Research*, 2010, 29(5): 863-872.]
- [32] 冯永玖, 韩震. 元胞邻域对空间直观模拟结果的影响. *地理研究*, 2011, 30(6): 1055-1065. [Feng Yongjiu, Han Zhen. Impact of neighbor configurations on spatially-explicit modeling results. *Geographical Research*, 2011, 30(6): 1055-1065.]
- [33] Tomlin C D. *Geographic Information Systems and Cartographic Modeling Englemwood Cliffs*. New Jersey: Prentice Hall, 1990.
- [34] 李乐, 齐伟, 张新花, 等. 栖霞市土地利用空间格局的邻域关系. *应用生态学报*, 2009, 20(4): 909-915. [Li Le, Qin Wei, Zhang Xinhua, et al. Neighborhood relationships of land use spatial pattern in Qixia city. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(4): 909-915.]
- [35] Verburg P H, de Nijis T M, Eck J R, et al. A method to analyze neighborhood characteristics of land use patterns. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2004, 28: 667-690.
- [36] 王石英, 蔡强国, 吴淑安. 邻域算法在景观分析中的应用. *地理研究*, 2005, 24(5): 692-698. [Wang Shiyong, Cai Qiangguo, Wu Shuan. Application of neighborhood processing in landscape analysis. *Geographical Research*, 2005, 24(5): 692-698.]
- [37] 陈利顶, 傅伯杰. 黄河三角洲地区人类活动对景观结构的影响分析: 以山东东营市为例. *生态学报*, 1996, 16(4): 227-244. [Chen Liding, Fu Bojie. Analysis of impact of human activity on landscape structure in Yellow River Delta: A case study of Dongying Region. *Acta Ecologica Sinica*, 1996, 16(4): 227-244.]
- [38] 吴志峰. 珠江三角洲景观典型区景观生态研究: 以珠海为例. 北京: 中国科学院地理科学与资源研究所博士学位论文, 2001. [Wu Zhifeng. GIS-based study on landscape ecology of typical area in Zhujiang Delta: A case of Zhuhai. Beijing: Doctoral Dissertation of Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, 2001.]
- [39] Riitters K, O'Neil R, Hunsaker C. A factor analysis of landscape pattern and structure metrics. *Landscape Ecology*, 1995, 10(3): 299-309.

Scenario simulation and landscape pattern assessment of land use change based on neighborhood analysis and auto-logistic model: A case study of Lijiang River Basin

WANG Qi, MENG Jijun, MAO Xiyan

(Key Laboratory of Earth Surface Processes, Ministry of Education, College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Tourism is identified to be capable of stimulating economic development in certain regions. However, tourist regions are experiencing a series of adverse effects with regard to local ecosystem associated with boosts in tourism. That is, the development of tourist region is able to manage a series of trade-offs between societal, economic and environmental goals. Given its integrated and dynamic land use form, tourist regions offer great samples to link physical and human systems and understand the anthropogenic effects and implications of land changes. Building on this premise, this paper seeks to model the physical- and human-induced landscape change by using Lijiang River Basin as a case. We employed a hybrid model of neighborhood analysis and Auto-logistic regression to project the likelihood map of land use distribution. Then, CLUE-S model is used to simulate future land use pattern under four policy-based scenarios: natural growth scenario, land planning scenario, resource conservation scenario and tourism development scenario. Several landscape indices are introduced to reveal the features of each pattern and to compare advantages of each scenario, which can provide scientific basis for future policy-making. Key results emerged: (1) Hybrid model of neighborhood analysis and auto-logistic regression is a more active and effective way, than the traditional logistic regression model is, to project the likelihood map of land use distribution. It helps to deal with the weakness of CLUE-s model on representing self-organizing character of land use change; (2) The Lijiang River Basin is a landscape dominated by the woodland and cultivated land. Vulnerability of landscape in the basin is primarily ascribable to the fragmentation of grassland and construction land and the fluctuated amount of water. To achieve an efficient land use in tourist region, a reasonable spatial regulation is more important than quantitative limits; (3) Tourism development requires a stable and diverse landscape. It indicates a necessity of controlling the interference of anthropogenic driven land use change on landscapes and managing the trade-off between socio-economic and eco-environmental land demand simultaneously. Result of this study may inform regional ecosystem management of ways to adapt sustainably to future change.

Key words: land use change; Auto-logistic regression; CLUE-S model; neighborhood analysis; scenario simulation; Lijiang river basin