

doi:10.11920/xnmdzk.2018.01.002

# 基于 CLUE-S 模型的拉萨市土地利用情景分析

余婷<sup>1,2</sup>, 周天财<sup>2</sup>, 傅广海<sup>1</sup>, 孙建<sup>2</sup>

(1. 成都理工大学旅游与城乡规划学院, 四川 成都 610059;

2. 中国科学院地理科学与资源研究所生态网络观测与模拟重点实验室, 北京 100101)

**摘要:**选取拉萨市城区作为研究对象,结合拉萨市相应的城市规划政策与土地利用变化趋势,制定了自然增长、经济发展和生态保护三种土地利用需求情景策略。结果表明:2001年和2008年两期的模拟总体精度分别为83.27%和79.26%,且Kappa指数均大于0.75,证明CLUE-S模型针对拉萨市的土地利用情况具有较好的拟合程度;到2022年拉萨市耕地面积持续下降,建设用地逐年增长,且林地和草地面积在不同的情景中均有微弱的增加,水体与未利用地相对变化较小,三种模拟情景中,研究区西部及东部变化较为明显;拉萨市建设用地扩张是景观破坏的主要原因,倡导“低碳、环保、绿色”的旅游生态旅游模式才是未来实施可持续发展的主旋律。今后政府相关决策部门可利用研究结果为拉萨市的土地可持续性发展管理提供有力的决策支持。

**关键词:**土地利用/土地覆盖变化;CLUE-S模型;情景分析;拉萨市

中图分类号:P9

文献标志码:A

文章编号:2095-4271(2018)01-0006-08

## Land use scenariodesign and simulation based on model in Lhasa city

YU Ting<sup>1,2</sup>, ZHOU Tian-cai<sup>2</sup>, FU Guang-hai<sup>1</sup>, SUN Jian<sup>2</sup>

(1. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, P. R. C.; 2. Key Lab of Ecosystem Network Observation and Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, P. R. C.)

**Abstract:** Lhasa city was selected as the research object. Based on the corresponding urban planning policy and land use trend in Lhasa, three land use demand scenarios were formulated for natural growth, economic development and ecological protection. The results showed that the overall accuracy of the simulation in 2001 and 2008 was 83.27% and 79.26% respectively, and the Kappa index was more than 0.75, which proved that the model had a good fitting degree for the land use situation in Lhasa. By 2022, the cultivated land in the studied area will continue decreasing, and the construction land increase significantly, while the forest land and grassland increase slightly in different scenarios. The relative changes of the water and the unused land were relatively small. In the three simulated scenarios, the Western and Eastern change is more obvious; Lhasa construction land expansion is the main reason for landscape damage, so "low-carbon, environmentally-friendly, green" tourism eco-tourism model is the main theme for future sustainable development. In the future, the decision-making governmental departments can use the findings to provide strong decision-making support for Lhasa's land sustainable development management.

**Key words:** change in land use/land cover; model; scenario analysis; Lhasa city

土地利用/土地覆盖变化(LUCC)是表征人类改变陆地表层系统最普遍的方式,其相关研究既是国内

收稿日期:2017-09-13

作者简介:余婷(1992-),女,四川南充人,硕士研究生,研究方向:自然地理相关研究. E-mail:ldy1825@163.com

通信作者:傅广海(1960-),男,河南镇平人,教授,博士,硕士研究生导师,研究方向:旅游管理、国家公园管理. E-mail:fugh@cdut.edu.cn;孙建(1980-),男,内蒙古人,副教授,博士,硕士研究生导师,研究方向:高原环境格局与生物地理. E-mail:sunjian@igsrr.ac.cn

基金项目:国家重点研发计划-高寒草原退化机制及其关键因子(2016YFC0502002)

外实施可持续发展战略所关注的核心领域之一<sup>[1-2]</sup>. 土地利用动态变化模型则是借助一定的现代科学技术对区域尺度的 LUCC 进行理解和认识,是一种对未来的土地利用的变化分布情况和驱动因子之间的协同性进行研究性评价的重要手段<sup>[3]</sup>.

CLUE-S 模型属于小区域尺度的 LUCC 空间模型中能成熟运用的一种,由荷兰的科学家组成的研究小组于 2002 年在先前 CLUE 模型的基础上开发出来的典型的高分辨率 LUCC 模型<sup>[4]</sup>. 该模型在国际上发展迅速,许多学者将其成功应用于各类土地利用变化,及土地利用变化与各类影响因素间变化关系的研究<sup>[5-9]</sup>.

在国内,CLUE-S 模型最早被张永民等在 Verburg 的研究基础上应用于内蒙古区域的土地利用时空动态变化模拟研究<sup>[10-11]</sup>,且取得了高精度的模拟结果. 自此之后,在研究我国不同地区的土地利用动态模拟中 CLUE-S 模型被广泛应用,并均取得良好的模拟研究结果,其中也包括在西部部分地区的应用<sup>[12-14]</sup>. 但是,少有研究利用 CLUE-S 模型对西藏地区的土地利用,特别是典型高原城市的土地利用/土地覆盖变化进行模拟的研究. 本研究以期通过 CLUE-S 模型对典

型的旅游城市拉萨市进行未来不同发展情景模拟,探讨土地利用/土地覆盖变化问题,为今后相关决策部门对拉萨土地可持续性发展管理提供有力的决策支持.

## 1 土地利用情景的构建

### 1.1 研究区概况与数据来源

拉萨地理坐标介于北纬 29°14'26"-31°03'45"、东经 89°45'9"-92°37'16"之间(图 1),南北距离为 202.53 km,东西距离为 276.43 km<sup>[14]</sup>,包括八县一区,总面积达 29 518 hm<sup>2</sup>. 拉萨不仅是西藏的首府以及经济、文化和宗教中心,同时也是全国优秀的旅游城市之一<sup>[15]</sup>. 拉萨平均海拔约为 3 650 m,太阳辐射强,具有丰富的物种多样性,然而自然条件非常苛刻,生态系统极其脆弱,容易受到气候变化和人类活动的影响.

《拉萨市城市总体规划(2009~2020)》提出“东延西扩南跨、一城两岸三区”的城市空间结构在规划的指导下,柳梧新区、东城新区和东嘎新区进入了快速发展阶段,拉萨市区由原来的单中心向多中心发展. 结合现有数据和拉萨市城市规划内容合并城关区和东嘎新区作为本文的研究区域.

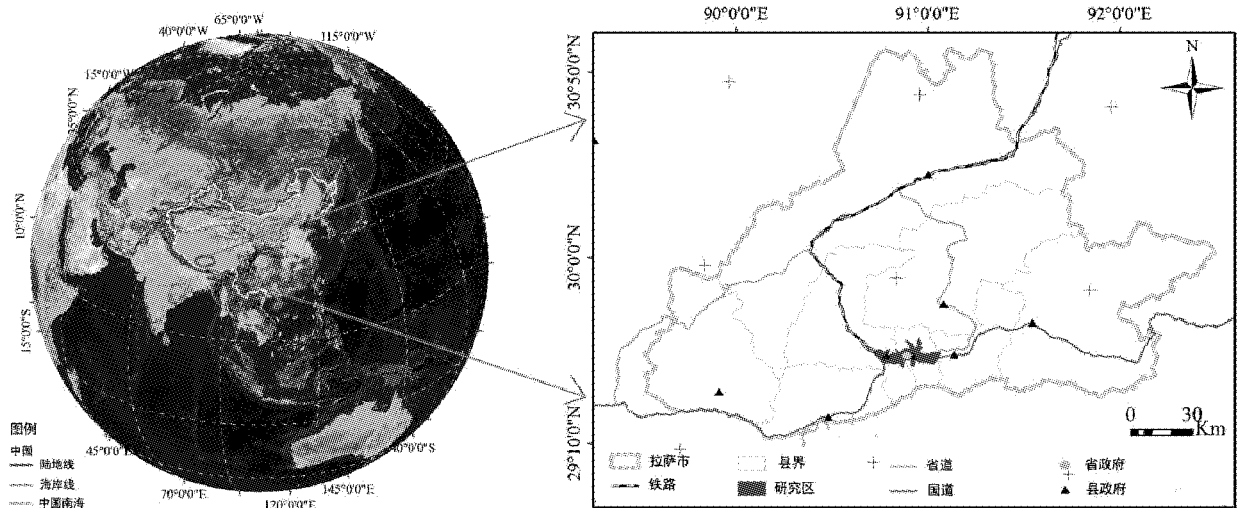


图 1 拉萨市位置图

Fig. 1 Location of Lhasa City

以研究区 1990 年、2001 年和 2008 年分别来自 SPOT1/4/5 空间分辨率为 10 m、10 m 和 2.5 m 的遥感影像、90 m 分辨率的数字高程模型(DEM)、区域内

相关的自然与社会经济数据作为 LUCC 研究的基本资料. 其中 DEM 来源于 NASA 网站(<https://www.nasa.gov/>),然后提取出坡度、坡向两个相关的

影响因子. 文中拉萨市的社会经济以及自然相关的数据都来自 1990 年、2001 年、2008 年的《拉萨市统计公报》和《拉萨年鉴》. 利用遥感图像处理软件 ENVI5.1 与 ArcGIS 10.2 软件分别对 1990 年、2001 年和 2008 年的遥感影像进行解译, 根据实际情况提取出研究区内 6 大地类涵盖三个时期的土地利用类型数据. 分类后, 在 ArcGIS 10.2 中进行手动矢量化, 以重新校正不准确的分类.

### 1.2 拉萨地区土地利用情景构建

综合区域的 LUC 的动态变化和空间布局特征, 结合拉萨市的发展优势和面临的问题, 本文设置了三种土地利用变化的情景方案: 自然增长情景, 拉萨市的土地利用需求的变化依然按照各地类在 1990 ~ 2008 年的速率恒定地发展, 将极少受到较大规模的

政府相关政策调整的影响; 经济发展情景, 基于拉萨市政府当局对社会、经济 and 环境保护之间的相互利益的综合考虑, 在该情境条件下, 研究区大力进行经济建设发展的同时, 调整城乡结构, 加强建设用地的转变; 生态保护情景, 严格保护水体和林地两种生态用地的面积, 同时加强建设用地和耕地对生态用地的转置, 并且有效的控制建设用地的扩张速率, 使拉萨市的生态状况得到最合理的优化.

## 2 CLUE-S 模型原理

CLUE-S 模型的运作需要五个组成模块, 只有满足四个必要条件和空间分配模拟<sup>[15]</sup>, 才能在模型中找到最好的迭代方法. CLUE-S 模型结构模型模拟流程如图 2 所示.

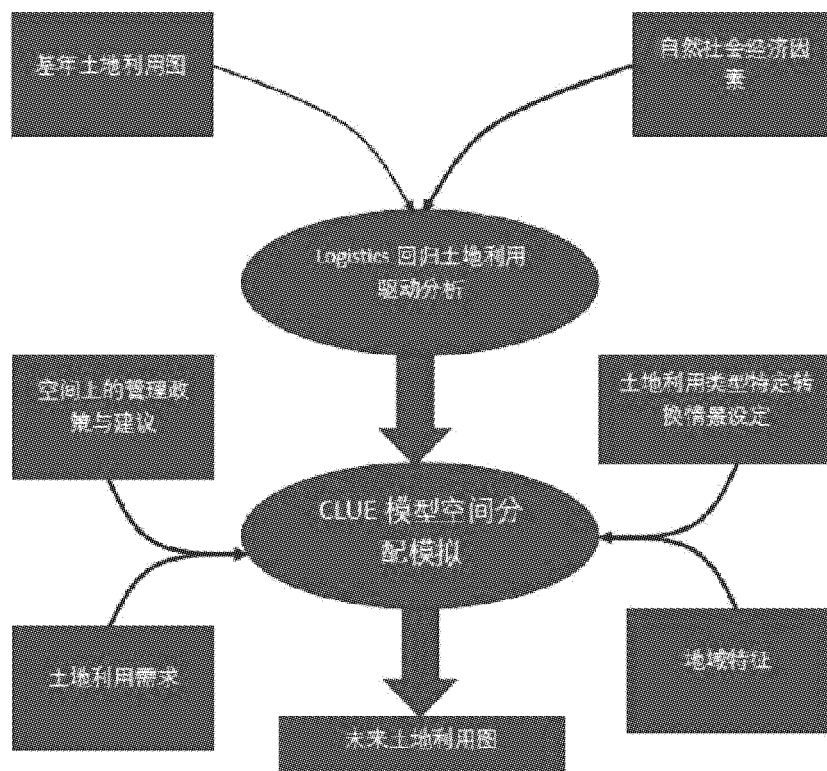


图 2 模型模拟流程图

Fig. 2 CLUE model simulation flow chart

## 3 CLUE-S 模型参数设置与模拟

### 3.1 驱动因子的选取

不同驱动因子对各类土地利用类型的影响与控制作用是不尽相同的. 为了更清晰地刻画与揭示不同

因素对土地利用变化的控制与影响作用, 根据数据的相关性及可获取性因子选取原则<sup>[16]</sup>, 综合考量已有的拉萨市数据, 本文选取 9 个驱动影响因子, 其中 GDP 的值随着时间的改变而改变, 属于动态因子; DEM、坡向、坡度、降水量、年均气温、到主要河流的距

离、到主要公路的距离和到市中心的距离作为静态因子处理.

### 3.2 Logistic 回归分析

在 CLUE-S 模型模型中,利用 SPSS16.0 中的 Binary Logistic 方法统计分析各类土地利用类型的空间分布情况与驱动因子之间的相互关系<sup>[15]</sup>.

Logistic 回归分析方法可以帮助筛选出那些影响 LUCC 的因子中相关性较为显著的因子,同时会在最后的回归结果中剔除那些显著性不显著的因子.针对每一种地类回归方程的拟合程度可以使用 Relative

operating characteristics(ROC)曲线进行分析检验.一般认为 ROC 值大于 0.7 的时候,相对应的驱动因子具有较好的拟合程度<sup>[17]</sup>.

采用 ROC 方法对 Logistic 的最终回归分析结果进行检验了,1990~2001 年与 2001~2008 年两期回归结果如表 1 所示.检验前述两期模拟的回归结果得知:草地的 ROC 值介于 0.6 与 0.7 之间,其余各土地利用类型的 ROC 值均在 0.7 之上,因此除草地外的其余 5 类土地类型与各驱动因子之间具有非常好的解释能力.

表 1 拉萨市 9 个驱动因子的回归结果

Table 1 Regression results of 9 driving factors in Lhasa City

驱动因子	1990~2001 年各驱动因子回归结果(系数)					
	耕地	林地	草地	水体	建设用地	未利用地
高程	0.007	0.008	-0.011	-0.076	-0.004	0.021
坡向	-	0.001	0.001	-	-	-
坡度	-0.112	0.017	0.178	-1.007	0.041	-0.154
降水量	0.007	-0.044	-0.003	-0.044	0.015	-0.011
年均气温	-1.225	1.203	-0.061	0.057	-0.333	0.548
到主要河流的距离	-	-	-	-0.001	0.001	-0.001
到主要公路的距离	-	-	-	0.001	-0.001	0.001
到市中心的距离	-	-	-	-	0.012	-
	-0.001	-0.031	-	-1.698	0.010	-2.117
常量	-20.050	-8.403	38.991	53.548	11.592	-76.11
	0.769	0.850	0.682	0.874	0.815	0.768
驱动因子	2001~2008 年各驱动因子回归结果(系数)					
	耕地	林地	草地	水体	建设用地	未利用地
高程	0.009	0.001	-0.01	-0.004	-0.011	0.023
坡向	-	0.003	-	-	-	-
坡度	-0.058	0.011	0.154	-1.164	0.032	-0.182
降水量	0.018	-0.019	0.006	-0.038	0.013	-0.006
年均气温	0.615	0.130	0.719	1.865	-1.591	0.308
到主要河流的距离	-	-	-	-0.001	0.001	-0.001
到主要公路的距离	-	-	-	0.002	-0.001	0.001
到市中心的距离	-	-	-	-	0.009	-
人均	-0.001	-0.025	-	-0.948	0.010	-1.256
常量	-10.128	-3.255	25.981	17.406	46.593	-85.938
	0.769	0.734	0.669	0.829	0.798	0.765

### 3.3 土地利用类型的转换弹性和转换规则

转移弹性系数(ELAS)的数值介于 0 到 1 之间,数值的大小代表土地类型改变的难易程度<sup>[18]</sup>. 设定 ELAS 时,通常不会发生变化的地类将设定 ELAS 为 1,极易发生变化的地类的设定 ELAS 为 0,如果改

变的难易程度是介于两者之间的地类则设定 ELAS 为 0~1 之间数值<sup>[19]</sup>. 本文通过对拉萨市 2001~2008 年不同土地利用类型历史数据的变化及各类土地利用类型的可逆程度等情况的考量,经过反复实验获取合适的转移弹性系数. 具体参数设置如表 2 所示.

表 2 ELAS 参数设置

Table 2 ELAS parameter settings

时期	耕地	林地	草地	水体	建设用地	未利用地
1990~2001 年	0.6	0.7	0.6	0.9	1	0.9
2001~2008 年	0.4	0.6	0.5	0.9	1	0.9

转移矩阵指在不同的情景设置中,各种土地利用类型之间可能存在的相互转换关系<sup>[20]</sup>. 具体通过矩阵的形式进行表示,矩阵中只有 0 和 1 两个值,0 表示地类之间不可以相互转换,1 表示地类之间可以互相转换. 此外,转移矩阵通常是需要考虑研究区的实际情况与相应确定的 ELAS 参数进行设定,本文中假设 6 种地类之间相互都可以进行转换,是以土地利用转移矩阵的内容是 5×5 数值全为 1 的矩阵.

### 3.4 CLUE-S 模型 Kappa 验证

分析 CLUE-S 模型结果的模拟精度时采用 Kappa 指数校准,此方法最早由 Cohen 在 1960 年提出<sup>[20-21]</sup>.

将上述的准备参数文件输入且运行 CLUE-S 模型生成 2001 年以及 2008 年的土地利用空间分布,模拟结果和实际分布详见图 3. 运用 ArcGIS 的相关分析功能,计算模拟结果的 kappa 值. 基于 90m×90m 的栅格情况,相减运算后 2001 年模拟正确的栅格数为 17 714,占总栅格数的 83.27%,kappa 指数为 0.799;而运算后得到 2008 年模拟的“0”值栅格个数为 16 864,占总栅格数的 79.26%,kappa 指数为 0.75. 可知 2001 年和 2008 年两期模拟结果的 Kappa 指数都大于 0.75,所以可以得出两期模拟结果都具有较高一致性的最终结论.

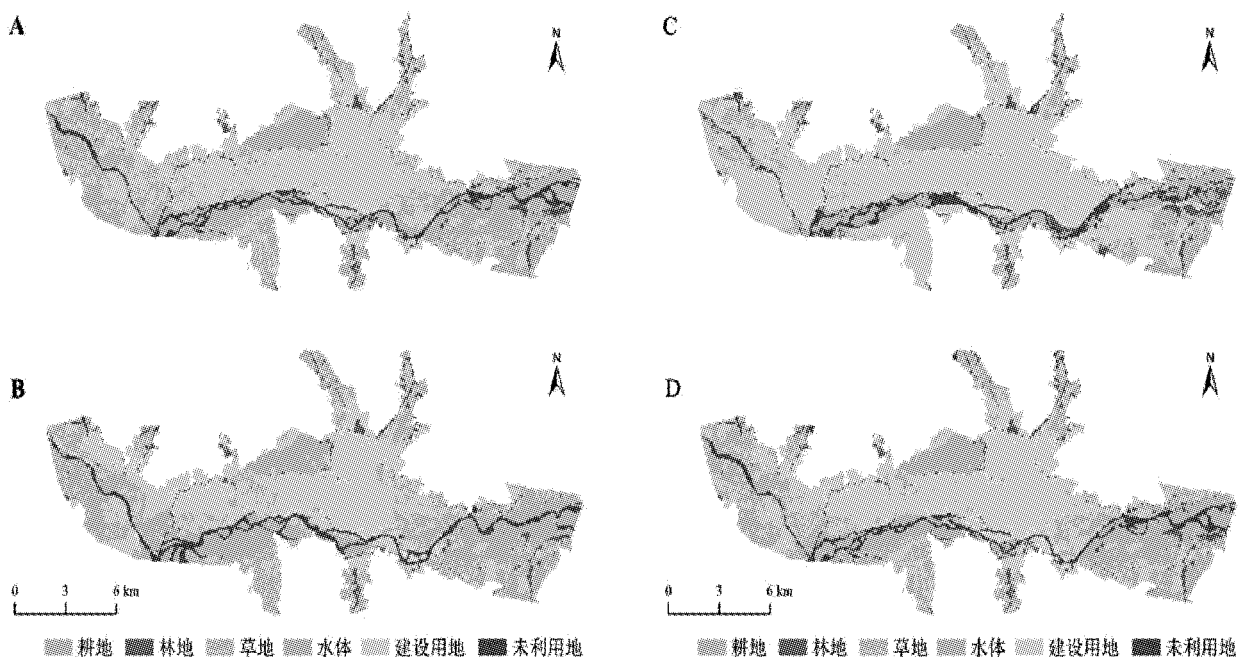


图 3 拉萨市土地利用解译数据与模拟结果

A. 2001 年解译 B. 1990~2001 年模拟 C. 2008 年解译 D. 2001~2008 年模拟

Fig. 3 Land use interpretation data and simulation results in Lhasa City

## 4 模拟结果分析

达到 kappa 精度要求的基础上,模拟不同情景下 2022 年每个地类的土地利用情况,作为土地利用的需求参数文件输入至模型.值得特别需要注意的是,在模拟不同的情景方案时,对模型的一些参数应该进行重新计算设定.结果如图 4 所示,综合分析 2022 年在三种情景方案下的模拟图和土地利用类型的面积变化(图 5).

在自然增长情景中(图 4A),受实施国家政策退耕还林等的影响,林地面积总体增加 3.5%;草地面积的减少变幅约为 12%;水体减少 17%,但是湿地面积却增加了 5%;耕地面积减少大约 17%;可见建设用

地急剧扩张的部分主要来自耕地和草地的锐减.在经济发展情景中(图 4B),到 2022 年,建设用地由 2008 年的  $6\,582.88^2$  增加到  $10\,355.32^2$ ,建设用地得以大规模的扩张,其主要扩张来源是耕地和草地面积的减少,变幅分别为 58% 和 22%,且沿拉萨河、城关区东部和东嘎区的建设用地增加尤为明显;林地面积总体大约减少 7.5%;水体基本保持“自然增长情景”中的趋势.在生态保护情景中(图 4C)除林地、草地面积显著增长;与“经济发展情景”相比,耕地与建设用地的相互转置速率放缓,但增长区域依然主要集中在东嘎区;水体与未利用地相较“自然增长情景”和“经济发展情景”有略微的增幅.

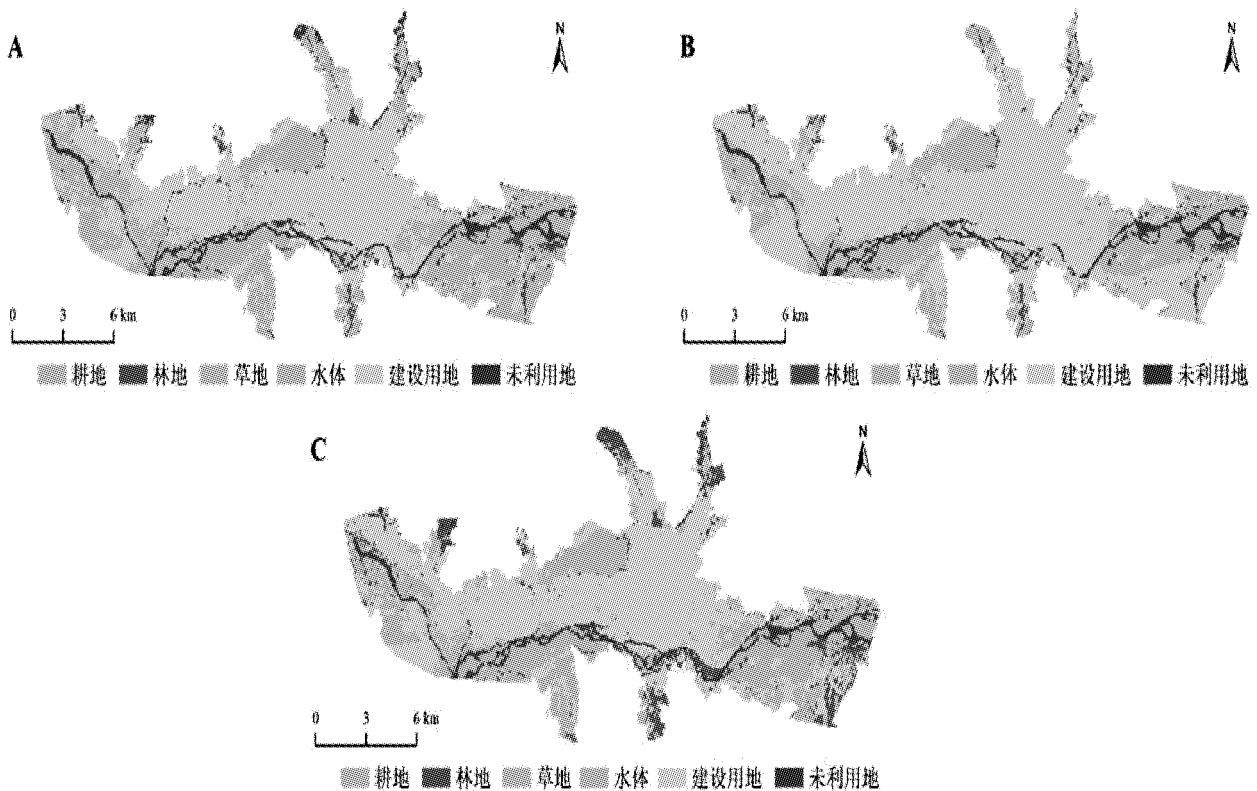


图 4 三种情景下 2022 年土地利用变化模拟图

A. 自然增长情景 B. 经济发展情景 C. 生态保护情景

Fig. 4 Land use predicting results of Lhasa City

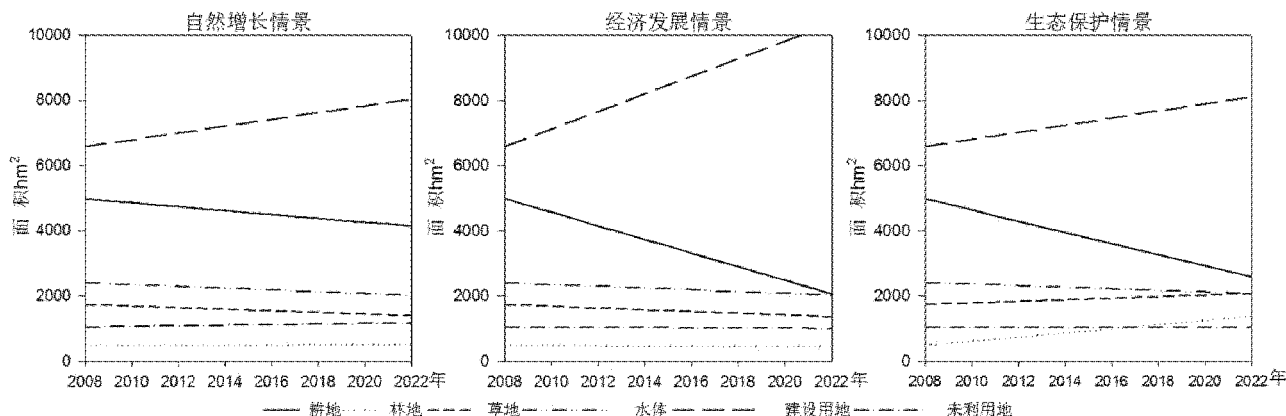


图 5 不同情境下拉萨市 2008-2022 年土地利用变化

Fig. 5 Land use area change of Lhasa City from 2008 to 2022

## 5 结论与讨论

中国 LUCC 研究的焦点是城市用地扩张<sup>[22]</sup>. 研究区内自然环境条件非常苛刻, 所以区域的土地利用变化受到的限制就较大<sup>[23]</sup>. 而人类活动则是土地利用变化的主要驱动力, 拉萨市前期的城市扩张主要是由政府的政策和初期投资(1990~2008年)来解释的, 经济发展、旅游增长和政府投入也同时导致了拉萨市的城市扩张加快. 空间上, 建设用地的增加与耕地减少的空间位置十分吻合, 多位于原有用地的周围, 说明城市扩张会严重侵占耕地. 拉萨地区悠久的宗教文化、原始的自然风光以及被许多游客称赞的“净化心灵”的城市魅力吸引了日益增加的世界各地的旅游人士, 他们带来的旅游经济成为拉萨地区经济增长、人文活动的主要组成部分<sup>[24]</sup>.

(1) 本研究基于拉萨市 1990 年、2001 年和 2008 年土地利用数据, 结合研究区内相关的自然和社会经济等因素选取了 9 个驱动因子, 运用 CLUE-S 模型对拉萨市 2001 和 2008 年的土地利用变化情况进行模拟, 最后模拟的结果成功通过了 Kappa 指数检验, 即两次模拟都取得较好的效果, 证明 CLUE-S 模型在拉萨市的土地利用/土地覆盖变化(LUCC)中具有较好的模拟解释能力. 这对于研究与拉萨市具有相似自然环境条件与社会经济发展水平的其他区县的土地利用变化来说, 具有较好的借鉴意义.

(2) 前文对拉萨市 LUCC 相关问题的客观分析, 得知拉萨市的城市用地规模变化主要是因为社会经

济、城市化的发展以及政府政策制度等的影响, 然而经济发展的同时这些现代化进程的快速演变也会加剧导致人口密集、环境恶化、土地浪费、生态失调等一系列的城市问题, 这些问题的存在将会严重的制约拉萨市未来土地可持续性管理的发展目标. 所以, 增加伴随 LUCC 出现的矛盾和问题的相关研究、加强土地资源对区域社会经济发展的屏障功能以及合理协调人口、土地和环境的相关关系对实现拉萨市社会经济的可持续发展具有重要的指导意义. 此外, 旅游业是近年来拉萨地区经济增长的支柱产业, 也是景观破坏和城市扩张速率增加的主要原因, 因此拉萨打造国际旅游城市的同时, 倡导“低碳、绿色、环保”的生态旅游主题才是未来发展的主旋律.

(3) 本文对于拉萨市 LUCC 的模拟研究中, 分析各种引起土地类型发生变化的驱动因子时, 过多的静态变化因素如距离变量、自然条件等, 而在土地类型发生变化的现实过程中, 拉萨市政府的政策决策、公共用地中基础设施的改善等动态变化因素也对城市建设用地的扩张起着重要的作用, 综合考虑和分析各类潜在的干扰因素才能更准确的模拟研究区的土地利用变化过程.

## 参考文献

- [1] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域——土地利用/土地覆盖变化的国际研究动向[J]. 地理学报, 1996(6): 553-558.
- [2] 陈佑启, PETER H VERBURG, 徐斌. 中国土地利用变化及其影响的空间建模分析[J]. 地理科学进展, 2000, 19(2): 116-127.

- [3] 后立胜,蔡运龙. 土地利用/覆被变化研究的实质分析与进展评述[J]. 地理科学进展,2004,23(6):96-104.
- [4] VERBURG PH, SOEPBOER W, VELDKAMP A, et al. Modeling the spatial dynamics of regional land use: the model [J]. Environmental Management,2002,30(3):391.
- [5] VERBURG PH, EICKHOUT B, MEIJL HV. A multi-scale, multi-model approach for analyzing the future dynamics of European land use[J]. The Annals of Regional Science,2008,42(1):57-77.
- [6] RGJR P, 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.
- [7] OVERMARS KP, VERBURG PH, VELDKAMP T. Comparison of a deductive and an inductive approach to specify land suitability in a spatially explicit land use model [J]. Land Use Policy,2007,24(3):584-599.
- [8] TURNER B L I, SKOLE D L, SANDERSON S, et al. Land-use and land-cover change. Science/research plan [C]// EGS - AGU - EUG Joint Assembly. EGS - AGU - EUG Joint Assembly,1995:669-679.
- [9] CASTELLA JC, KAM SP, DANG DQ, et al. Combining top-down and bottom-up modelling approaches of land use/cover change to support public policies: Application to sustainable management of natural resources in northern Vietnam [J]. Land Use Policy,2007,24(3):531-545.
- [10] 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.
- [11] 张永民,赵士洞,VERBURG P H. 科尔沁沙地及其周围地区土地利用变化的情景分析[J]. 自然资源学报,2004,19(1):29-37.
- [12] 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[J]. 地理研究,2005,24(2):206-212.
- [13] 张华,张勃,孟宝,等. 张掖市土地利用/覆盖变化模拟[J]. 遥感技术与应用,2004,19(5):359-363.
- [14] 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.
- [15] 巴桑吉巴,胡海燕,孟祥娜. 拉萨市国家级非物质文化遗产旅游开发适宜性评价[J]. 西藏研究,2014(06):43-48.
- [16] 王丽艳,张学儒,张华,等. CLUE-S 模型原理与结构及其应用进展[J]. 地理与地理信息科学,2010,26(03):73-77.
- [17] 汪齐松,曾永年,杨灿. 基于 CLUE-S 模型集成设计的关键问题研究[J]. 测绘科学,2010,35(3):196-197.
- [18] 何丹,周璟,高伟,等. 基于 CA-Markov 模型的滇池流域土地利用变化动态模拟研究[J]. 北京大学学报(自然科学版),2014,50(6):1095-1105.
- [19] 郭延凤,于秀波,姜鲁光,等. 基于 CLUE 模型的 2030 年江西省土地利用变化情景分析[J]. 地理研究,2012,31(6):1016-1028.
- [20] 蒙古军,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[J]. 应用基础与工程科学学报,2010,18(2):197-208.
- [21] 朱康文,李月臣,周梦甜. 基于 CLUE-S 模型的重庆市主城区土地利用情景模拟[J]. 长江流域资源与环境,2015,24(5):789-797.
- [22] 谈明洪,李秀彬,吕昌河. 我国城市用地扩张的驱动力分析[J]. 经济地理,2003,23(5):635-639.
- [23] 曲福田,卢娜,冯淑怡. 土地利用变化对碳排放的影响[J]. 中国人口·资源与环境,2011,21(10):76-83.
- [24] 杨坤,胡馨,石越. 基于 RS 和 GIS 的土地利用变化碳排放现状及预测分析[J]. 长江科学院院报,2016,33(7):137-141.
- (责任编辑:李建忠,付强,张阳,罗敏;英文编辑:周序林,郑玉才)