

# 基于 FLUS 模型的云南昭通昭阳区 土地利用变化及预测

周京春<sup>1</sup>, 耿新春<sup>2</sup>

(1. 云南师范大学 地理学部, 云南 昆明 650500; 2. 巧家县中寨乡人民政府, 云南 昭通 654603)

**摘要:** 利用多源、多时相、多尺度的遥感数据和模拟分析模型制作地学图谱, 是目前研究土地利用变化规律及其未来演变趋势的关键手段。以云南昭通昭阳区为研究区域, 将其 2011, 2015, 2019 年的 3 期遥感影像数据进行人机交互解译得到土地利用图谱, 并通过地类转移矩阵和土地利用动态度探索各用地类型的变化规律。在此基础上, 综合研究区的自然条件、社会环境和交通情况的 13 个驱动因子, 运用 FLUS 模型以 2015 年的数据对 2019 年进行土地利用情况的模拟与可靠性验证, 以寻求最佳的 FLUS 模型参数设置。最后, 采用马尔科夫链预测研究区 2023 年各类土地的用地数量。通过对昭阳区土地利用变化的分析、模拟和预测, 可为当地的土地资源管理部门优化配置和规划土地资源提供科学依据。

**关键词:** LUC; 土地利用图谱; 模拟预测; 驱动因子; FLUS 模型

**中图分类号:** P237 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-5639 (2022) 06-0086-08

**DOI:** 10.14091/j.cnki.kmxyxb.2022.06.015

## Land Use Change and Forecast for Zhaoyang Area in Zhaotong Yunnan Based on FLUS Model

ZHOU Jingchun<sup>1</sup>, GENG Xinchun<sup>2</sup>

(1. Faculty of Geography, Yunnan Normal University, Kunming, Yunnan, China 650500;

2. People's Government of Zhongzhai Township Qiaojia County, Zhaotong, Yunnan, China 654603)

**Abstract:** The key methods to study LUC and its future evolution trend are the application of multi-source, multi temporal and multi-scale remote sensing data and simulation analysis models to make geoscience maps. The study selects Zhaoyang District of Zhaotong City, Yunnan Province as the research area, Landsat TM/OIL remote sensing images of 2011, 2015 and 2019 as data sources to obtain corresponding land use classification maps through human-machine interpretation. On this basis, combined with 13 driving factors of natural, social and traffic conditions in the area, the FLUS model is used to simulate and verify the land use status in 2019 based on the data of 2015 in order to find the best parameters setting of the FLUS model. Finally, Markov chain is used to predict the land use status in 2023. The analysis, simulation and prediction of land use change in Zhaoyang area can provide scientific decision-support for the local land resource management department to optimize the allocation and planning of land resources.

**Key words:** LUC; land use map; simulate and forecast; driving factor; FLUS model

土地资源影响着全球生态、环境和气候的变化。在今天城市化的发展进程中, 土地资源供需不平衡、规划不合理、土地政策不完善等导致土地不能被最优化、合理化和可持续利用, 于是国内外学者<sup>[1,2]</sup>针对土地利用/土地覆盖变化 (Land use and land cover change, LUC) 开展了广泛地研究和探索, 内容主要包括 LUC 变化规律研究<sup>[3,4]</sup>、LUC 驱动力研究<sup>[5]</sup>和 LUC 模拟预测研究<sup>[6,7]</sup>, 研究手段主要是利用多源、多时相、多尺度的遥感数据和模拟分析模型来制作土地利用图谱, 直观地展现土地利用变化规律及其未来

收稿日期: 2022-05-09

基金项目: 国家重点研发计划项目政府间国际科技创新合作重点专项“利用地理空间技术监测和评估土地利用/土地覆被变化对区域生态安全的影响”(2018YFE0184300)。

作者简介: 周京春 (1972—), 女, 北京人, 正高级工程师, 博士, 主要从事空间信息服务领域研究。

演变趋势.

目前, 常用的模型有灰色预测模型<sup>[8]</sup>、Logistic 回归模型<sup>[9]</sup>、元胞自动机模型 (Cellular automata, CA)<sup>[10]</sup>、CLUE-S 模型<sup>[11]</sup>等, 这些模型大都不能同时兼顾数量和时空对于土地利用的影响. FLUS 模型<sup>[12,13]</sup>是近年来新发展起来的一种模型, 它在 CA 模型基础上整合了人工神经网络 (Artificial neural networks, ANN) 算法和轮盘赌选择机制 (Roulette wheel selection), 可通过一期土地利用数据, 综合多种自然与社会经济因子来模拟未来土地利用变化, 模拟结果与现实相似度和精度较高.

本文采用 FLUS 模型对云南省昭通市昭阳区的土地利用变化情况进行分析、模拟和预测, 以掌握该区域土地利用发展变化的规律, 以期当地土地资源规划和配置提出合理和有效的建议, 促进土地的可持续和人地协调发展.

### 1 研究区概况

昭阳区为云南省昭通市辖区 (图 1 中云南省地图依据云南省自然资源厅标准地图 [审图号: 云 S (2021) 47 号] 制作, 底图无修改, 昭阳区地图依据云南省自然资源厅标准地图 [审图号: 云 S (2021) 126 号] 制作, 底图无修改. 以下图 2、图 3、图 5、图 6、图 7 的底图及审图号与图 1 相同), 地处北纬 27.1°~27.6°, 东经 103.1°~103.9°, 位于云南、四川和贵州的三省结合处, 为高原地貌, 高原大陆季风气候. 昭阳区地处国家“攀西-六盘水”经济开发区的腹地地带, 近年来该区发展迅速, 对土地的需求量日益增长.

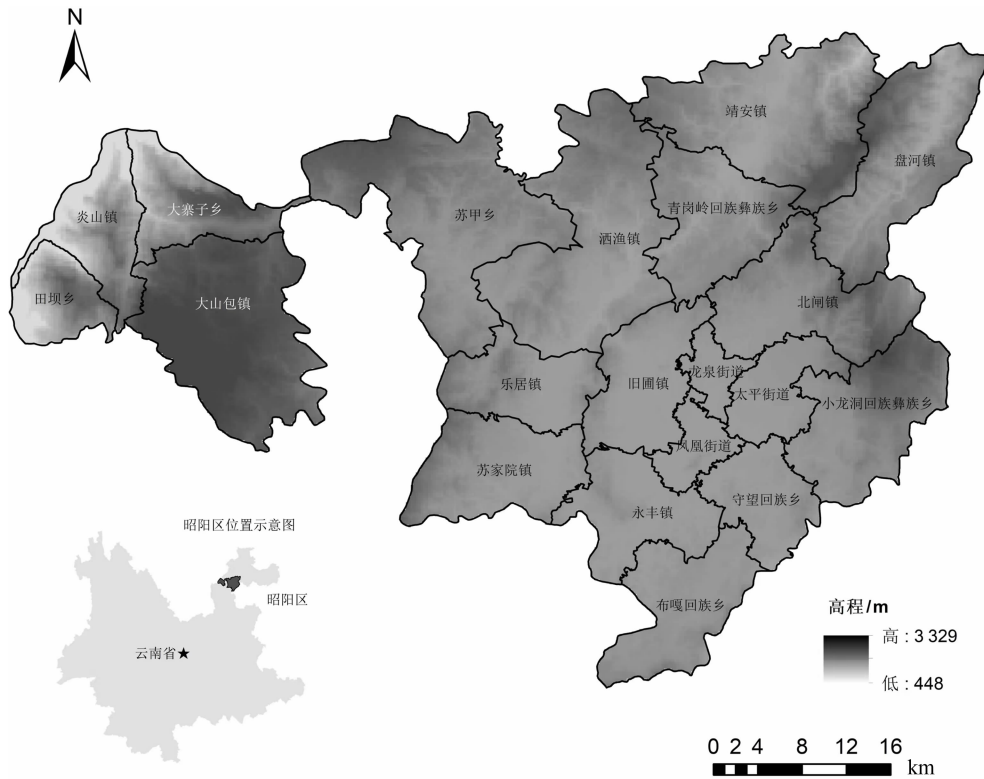


图 1 昭阳区地理位置

### 2 数据选取与处理

本研究获取的数据包括研究区的遥感影像数据、GIS 数据及其相关文字说明数据, 见表 1.

遥感影像数据经过辐射定标、大气校正、裁剪等一系列操作之后, 依据《第三次全国国土调查技术规程》(TD/T 1055—2019), 采用人机交互解译的方法生成了 2011—2019 年的土地利用分类图谱, 见图 2.

表 1 数据信息

数据类型	数据特征	数据来源
影像数据	Landsat5 TM (30 m 多光谱, 2011 年)	网站下载 ( <a href="https://glovis.usgs.gov/">https://glovis.usgs.gov/</a> )
	Landsat8 OIL (30 m 多光谱, 2015 年)	
	Landsat8 OIL (30 m 多光谱, 2019 年)	
自然环境数据	DEM (12.5 m 空间分辨率, 2009 年)	网站下载 ( <a href="https://earthdata.nasa.gov/">https://earthdata.nasa.gov/</a> )
	坡度、坡向 (2009 年)	通过 ArcGIS 从 DEM 中提取
	河流水系 (2019 年)	网站下载 ( <a href="http://www.openstreetmap.org/">http://www.openstreetmap.org/</a> )
行政区划数据	市、县(区) (2015 年)	网站下载 ( <a href="http://www.openstreetmap.org/">http://www.openstreetmap.org/</a> )
交通路网数据	公路(国道、省道、县道, 2019 年)	网站下载 ( <a href="http://www.openstreetmap.org/">http://www.openstreetmap.org/</a> )
	铁路 (2019 年)	
社会经济数据	POI (学校、医院、商场、车站、公园等, 2019 年)	谷歌地图

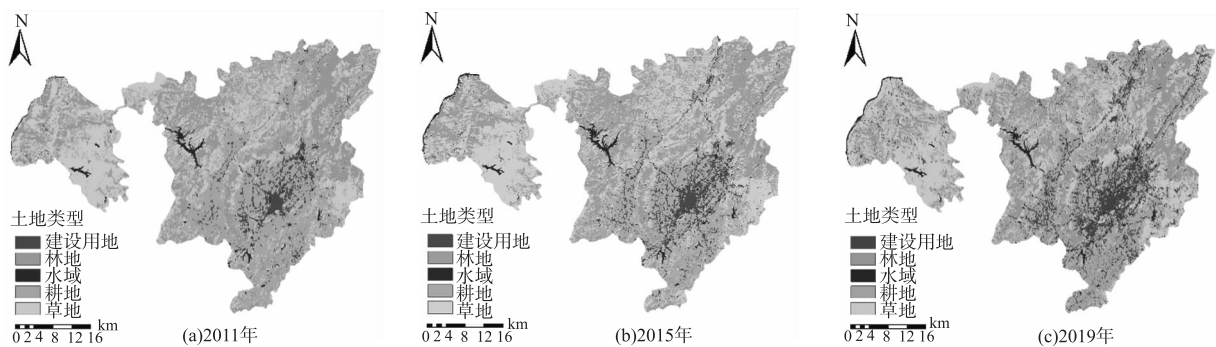


图 2 昭阳区 2011—2019 年土地利用分类图谱

将 GIS 数据及其相关文字说明数据进行归一化处理, 结合本区域发展现状和前人对于土地利用变化驱动因子的分析及研究<sup>[14,15]</sup>, 处理生成了分辨率为 30 m × 30 m, 以及空间范围、数学基础、格式等完全统一的 13 幅土地利用变化驱动因子栅格图 (表 2、图 3)。

表 2 土地利用变化驱动因子

因子类型	因子名称	说明
自然条件	高程	每个栅格的高程值
	坡度	表示该地块单元的陡缓程度
	坡向	表示该地块单元的朝向
社会环境	到学校、商场、公园等的距离	该地块单元到学校、商场、公园等的距离
	到工业区的距离	该地块单元到工业区的距离
	到各乡镇的距离	该地块单元到各乡镇的距离
	到行政中心的距离	该地块单元到行政中心的距离
	到加油站、停车场的距离	该地块单元到加油站、停车场的距离
交通情况	到客运站的距离	该地块单元到客运站的距离
	到公路的距离	该地块单元到其最近国道、省道和县道的距离
	到铁路的距离	该地块单元到其最近铁路的距离
	到湖泊、水库的距离	该地块单元到水库、湖泊的距离
	到河流的距离	该地块单元到河流的距离

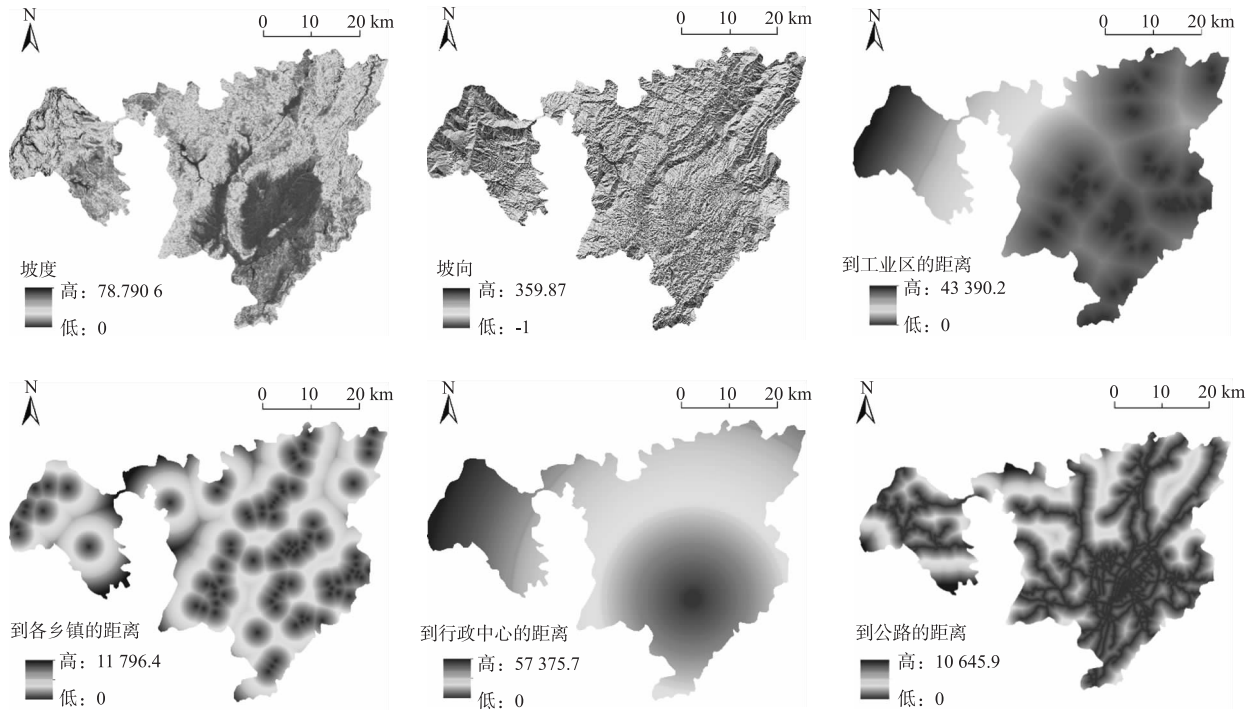


图 3 部分昭阳区土地利用变化驱动因子栅格图

### 3 研究方法和过程

#### 3.1 昭阳区土地利用变化分析

根据上面所得的昭阳区 2011, 2015, 2019 年 3 期土地利用分类数据, 采用土地利用动态度<sup>[16]</sup> (见式 1) 和地类转移矩阵<sup>[17]</sup> (见式 2) 对研究区 2011 年至 2019 年间土地利用变化规律进行分析, 结果见表 3 和表 4.

$$M = \frac{C_b - C_a}{C_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% , \tag{1}$$

式 (1) 中,  $M$  为某一时期的土地利用动态度;  $C_a$  和  $C_b$  分别为某地类初期和末期的面积;  $T$  表示时间间隔.

$$S = S_{ij} = \begin{bmatrix} S_{11} & \cdots & S_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ S_{n1} & \cdots & S_{nm} \end{bmatrix} , \tag{2}$$

式 (2) 中,  $S_{ij}$  表示由地类  $i$  转变为地类  $j$  的面积;  $n$  表示地类总数.

表 3 土地利用变化动态度

土地类型	耕地	建设用地	林地	水域	草地
时间   动态度	K/%	K/%	K/%	K/%	K/%
2011—2015 年	-0.56	19.39	3.60	0.70	-4.50
2015—2019 年	-1.15	11.03	6.36	1.26	-8.38

表 4 昭阳区 2011—2019 年土地利用转移矩阵

km<sup>2</sup>

		2019 年				
		耕地	建设用地	林地	水域	草地
2011 年	耕地	487.23	117.90	50.86	3.36	77.20
	建设用地	11.78	67.09	1.59	0.98	1.66
	林地	15.87	8.40	537.60	3.78	13.46
	水域	3.32	2.65	0.80	20.52	0.39
	草地	168.97	16.62	240.37	1.22	307.78

从计算结果可以看出,过去 9 年间,在昭阳区城镇化进程中,农业结构也随之调整,昭阳区各类土地之间转换比较剧烈.其中耕地减少、建设用地增加为昭阳区主城区土地利用变化的主要基调,主城区以外的草地大规模减少,被用作林地和耕地的补充,这与昭通市扶持和培育苹果产业,着力打造“果园城市”和政府积极引导群众发展花椒、葡萄、玫瑰等特色农业,以及在“退耕还林”政策影响下林地增加有关.

### 3.2 FLUS 模型参数设置

研究采用 FLUS 模型开展,其流程如图 4 所示.

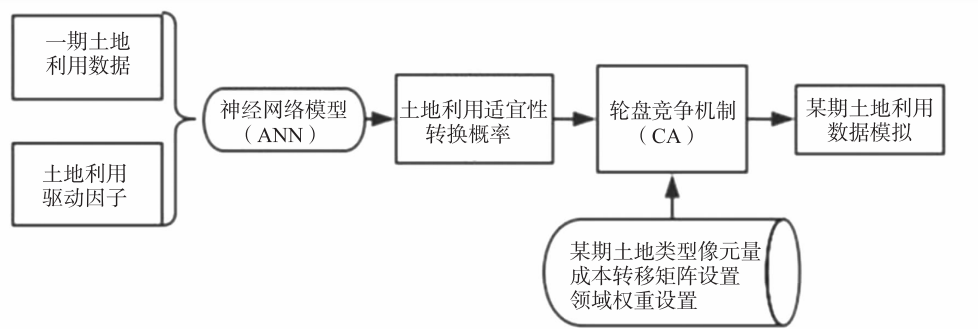


图 4 FLUS 模型模拟流程

FLUS 模型由 ANN 适宜性计算模块和自适应轮盘选择机制模块组成. ANN 适宜性计算模块由输入层、隐藏层和输出层组成,用于计算各土地类型的适宜性转换概率,其表达式如式 3:

$$P(m,n,h) = \sum_k w_{k,n} \times \text{sigmoid}(net_k(m,h)) = \sum_k w_{k,n} \times \frac{1}{1 + e^{-net_k(m,h)}}, \sum_k P(m,n,h) = 1, \quad (3)$$

式 (3) 中,  $P(m,n,h)$  为第  $n$  类土地在栅格  $m$  上  $h$  时刻的适宜性概率;  $w_{k,n}$  和  $\text{sigmoid}()$  分别为隐藏层和输出层的权值和激励函数;  $net_k(m,h)$  为第  $k$  个隐藏层栅格  $m$  在时间  $h$  上的信号.  $h$  时刻在栅格  $m$  上各用地类型的适宜性概率之和为 1.

自适应轮盘竞争机制模块中的自适应惯性系数  $R_n^h$  表达式如式 4:

$$R_n^h = \begin{cases} R_n^h, & |K_n^{h-2}| \leq |K_n^{h-1}|, \\ R_n^h \times \frac{K_n^{h-2}}{K_n^{h-1}}, & 0 > K_n^{h-2} > K_n^{h-1}, \\ R_n^h \times \frac{K_n^{h-1}}{K_n^{h-2}}, & K_n^{h-1} > K_n^{h-2} > 0. \end{cases} \quad (4)$$

式 (4) 中,  $K_n^{h-1}$  和  $K_n^{h-2}$  分别对应  $h-1$  和  $h-2$  两个时刻第  $n$  种土地类型的栅格数量和所求数量之差.

计算栅格在某个时刻转化为某种土地类型的概率公式见式 5:

$$TPS_{m,n}^h = P(m,n,h) \times \Omega_{m,n}^h \times R_n^h \times (1 - se_{e \rightarrow n}), \quad (5)$$

式 (5) 中,  $TPS_{m,n}^h$  为栅格  $m$  在  $h$  时刻转化为第  $n$  种地类的概率;  $1 - se_{e \rightarrow n}$  为发生转化的难易程度;  $\Omega_{m,n}^h$  为邻域作用,其表达式见式 6:

$$\Omega_{m,n}^h = \frac{\sum_{N \times N} \text{con}(f_p^{h-1} = n)}{N \times N - 1} \times w_n, \quad (6)$$

式 (6) 中,  $\sum_{N \times N} \text{con}(f_p^{h-1} = n)$  为  $N \times N$  的摩尔邻域窗口,表示上一次迭代结束后第  $n$  种地类的栅格总数量;  $w_n$  为各用地类型的邻域权重.本研究采用  $3 \times 3$  的摩尔邻域窗口,迭代次数设置为 300 次.

在使用 FLUS 模型进行土地利用模拟分析时,必须反复实验,设置好各个步骤所使用的参数.

#### 3.2.1 基于 ANN 适宜性概率计算的参数设置

在 ANN 模块计算中,将昭阳区 2015 年土地利用栅格数据作为输入层,选取表 2 列出的 13 个驱动因子作为输入层的神经元,隐藏层数量至少为输入层数量的  $2/3$ ,经计算设为 10 个.选用随机采样方法,

在研究区内随机抽取 20% 的总栅格单元计算土地利用的适宜性概率, 输出层为 5 种土地利用类型的适宜性概率 (图 5)。从输出结果可知, 昭阳区 2015 年土地利用训练的误差在允许误差范围之内, 其均方根误差为 0.269 0。

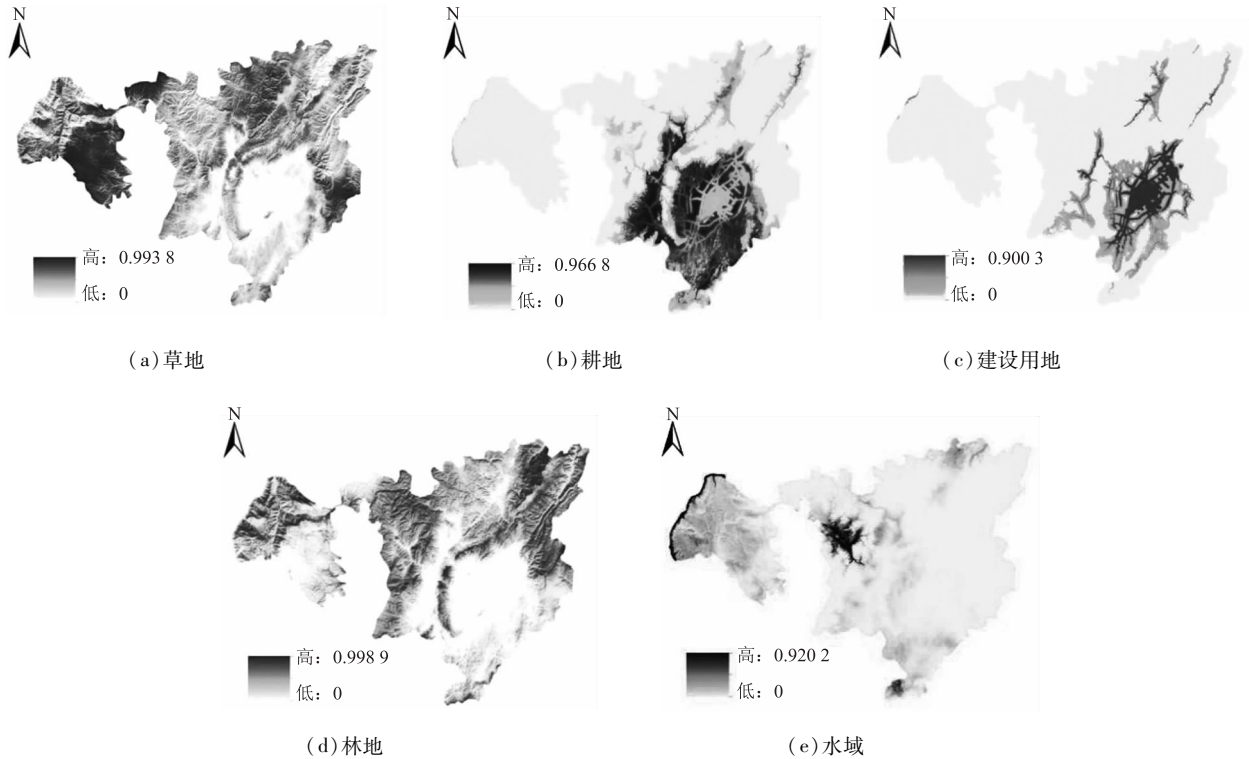


图 5 昭阳区 2015 年土地适宜性转换概率

### 3.2.2 成本矩阵设置

在进行成本矩阵参数设置时, 当允许某种地类向其他地类转换时设为 1, 不允许转换时设为 0。本研究将各用地类型的成本矩阵都设置为 1, 表示各用地类型之间都可以相互转化。

### 3.2.3 土地利用类型的邻域权重参数设置

邻域权重代表土地类型之间转化的难易程度, 会对模拟结果造成一定影响, 本研究参考相关文献 [18, 19] 和昭阳区实际情况, 将模拟结果与实际情况进行反复对比实验, 最终设置了邻域权重参数, 见表 5。

表 5 昭阳区土地利用类型的邻域权重参数

土地类型	建设用地	耕地	林地	草地	水域
邻域权重参数	1.0	0.8	0.4	0.7	0.2

### 3.3 昭阳区土地利用模拟与精度验证

根据上述设置的参数, 利用 FLUS 模型和 2015 年昭阳区的土地分类数据模拟 2019 年昭阳区的土地利用情况, 并与 2019 年昭阳区实际的土地利用分类图进行对比分析 (见图 6), 采用数量精度和 Kappa 系数评定精度。

将 2019 年模拟结果与实际土地利用类型数据进行叠加计算, 得出昭阳区 2019 年土地利用模拟图的整体数量精度平均为 80.05%, 耕地、建设用地、林地、草地和水域的模拟精度分别为 73.52%, 71.79%, 89.90%, 83.48% 和 81.54%。同时, Kappa 指数计算为 0.779 6, 模拟精度较好。

从模拟结果可以看出, 耕地和建设用地的模拟准确度相对较低, 这主要是因为昭阳区特殊的地理位置, 居民居住地比较分散, 导致建设用地较为破碎而容易被误判为其他的土地利用类型。另外, 还存在林地被模拟为耕地的问题, 这主要是因为昭阳区农业结构调整, 导致耕地被大量转化为果园, 而本研究又将

林地与园地等进行了合并，因此对模拟结果造成了一定偏差。

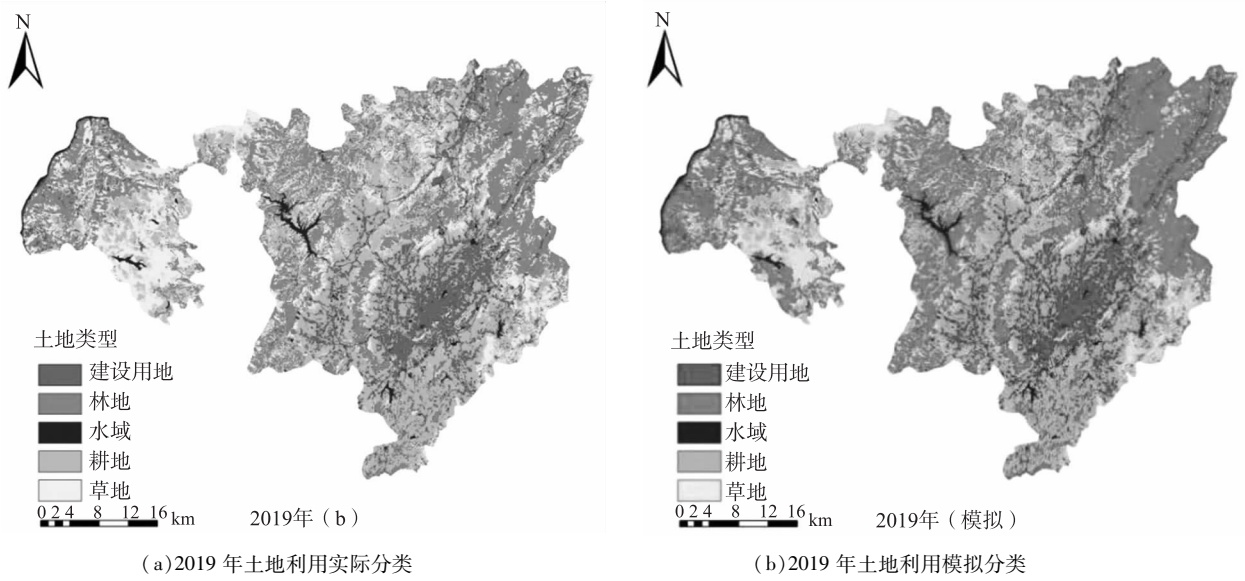


图 6 2019 年土地利用实际图与模拟图对比

### 3.4 昭阳区土地类型模拟预测

通过 2019 年土地利用分类模拟数据与实际数据对比可知，模拟精度达到标准，可以运用 FLUS 模型进行昭阳区未来土地利用情况的模拟和预测。本研究运用 FLUS 模型中的马尔科夫链对 2023 年土地像元数进行了模拟预测，结果如图 7、图 8 所示。

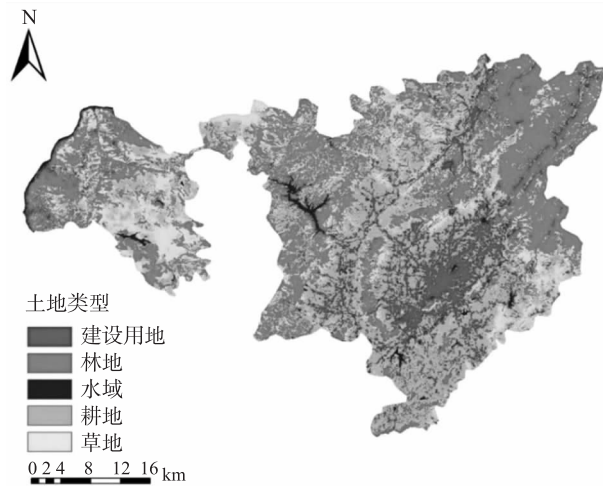


图 7 昭阳区 2023 年土地利用状况模拟图

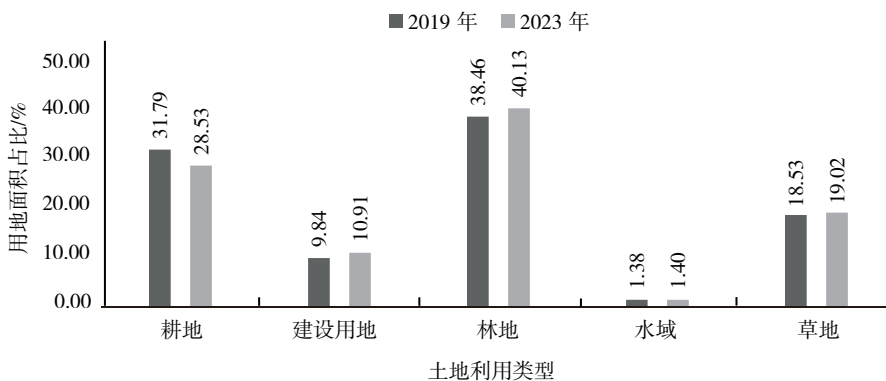


图 8 昭阳区 2019 年和 2023 年各用地类型面积占比

#### 4 结论与讨论

本文以昭阳区为研究区域, 从 LUC 数据的采集、归一化处理到土地利用变化驱动因子的选取、FLUS 模型参数的测试设置到最后的模拟验证, 完整地实现了昭阳区 LUC 的预测变化流程, 可以有效地为当地土地规划和优化配置工作提供科学决策依据。

通过对模拟过程的实践和思考, 本文尚存在下列问题需进一步研究和探讨:

1) FLUS 模型的参数设置带有一定主观性。如邻域权重参数的设置, 主要是通过不断实验和调试确定的, 还需深入研究和探索 FLUS 模型的参数设置, 提高客观性和科学性。

2) 驱动因子选取不够全面。由于影响各种类型土地变化的因素复杂多样, 但由于一些经济因素、政策变化等数据难以全面收集获取, 导致对土地利用变化的模拟精度受到一定的影响。同时还需开展驱动因子之间的相关性研究, 保证因子的选择更具有针对性和客观性。

#### [参考文献]

- [1] LI X, CHEN G, LIU X, et al. A new global land-use and land-cover change product at a 1km resolution for 2010 to 2100 based on human-environment interactions [J]. *Annals of the American Association of Geographers*, 2017, 107 (5): 1040 - 1059.
- [2] HUANG J, HE J, LIU D, et al. A new-post evaluation approach to assess the impacts of accomplished urban structure shift on land landscape connectivity [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 622/623 (1): 1143 - 1152.
- [3] 仙巍, 邵怀勇, 周万村. 嘉陵江中下游地区近 30 年土地利用与覆被变化过程研究 [J]. *地理科学进展*, 2015, 5 (2): 114 - 121.
- [4] 罗格平, 周成虎, 陈曦. 干旱区绿洲土地利用与覆被变化过程 [J]. *地理学报*, 2003, 3 (1): 63 - 72.
- [5] 蒙吉军, 严汾. 大城市边缘区 LUC 驱动力的时空分异研究: 以北京昌平区为例 [J]. *北京大学学报 (自然科学版)*, 2009, 45 (2): 311 - 318.
- [6] 范环宇. 基于 GIS 与 CA 模型的城市扩展研究 [D]. 大连: 辽宁师范大学, 2017.
- [7] 迟彬, 胡守庚. 基于马尔可夫模型的重庆市土地利用预测研究 [J]. *安徽农业科学*, 2015 (26): 16206 - 16207.
- [8] 李文超, 王海涛, 杨旭. 基于灰色模型的延吉市土地利用预测研究 [J]. *水土保持应用技术*, 2015 (3): 34 - 35.
- [9] 谢花林, 李波. 基于 Logistic 回归模型的农牧交错区土地利用变化驱动力分析: 以内蒙古翁牛特旗为例 [J]. *地理研究*, 2008, 27 (2): 294 - 304.
- [10] 周成虎, 孙战力, 谢一春. 地理元胞自动机研究 [M]. 北京: 科学出版社, 1999: 1 - 163.
- [11] 贾旭飞. 基于 CLUE-S 模型的长安区土地利用变化模拟及其景观生态效应分析 [D]. 西安: 长安大学, 2018.
- [12] LIU X P, LIANG X, LI X, et al. A future land use simulation model (FLUS) for simulating multiple land use scenarios by coupling human and natural effects [J]. *Land Landscape and Urban Planning*, 2017, 68: 94 - 116.
- [13] 黎夏, 李丹, 刘小平. 地理模拟优化系统 (GeoSOS) 及其在地理国情分析中的应用 [J]. *测绘学报*, 2017, 46 (10): 1598 - 1608.
- [14] 李国珍. FLUS 模型的深圳市土地利用变化与模拟研究 [D]. 武汉: 武汉大学, 2018.
- [15] 吴婷. 基于 CLUE-S 模型的南京市土地利用变化模拟 [D]. 武汉: 武汉大学, 2018.
- [16] 庄大方, 刘纪远. 中国土地利用程度的区域分异模型研究 [J]. *自然资源学报*, 1997 (2): 10 - 16.
- [17] 龚健, 陈耀霖, 张志. 基于多分类 Logistic 回归模型的区域土地利用变化及驱动因素研究 [J]. *湖北农业科学*, 2016, 55 (17): 4545 - 4550.
- [18] 刘纪远, 张增祥, 徐新良, 等. 21 世纪初中国土地利用变化的空间格局与驱动力分析 [J]. *地理学报*, 2009, 64 (12): 1411 - 1420.
- [19] 李少英, 刘小平, 黎夏, 等. 土地利用变化模拟模型及应用研究进展 [J]. *遥感学报*, 2017, 21 (3): 329 - 340.