

余晓芳,安裕伦,安 宁,等.喀斯特山区都市土地利用变化与 ESV 关系研究——以贵州省贵阳市为例[J].江苏农业科学,2017,45(9):217-222.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.09.059

喀斯特山区都市土地利用变化与 ESV 关系研究 ——以贵州省贵阳市为例

余晓芳^{1,2}, 安裕伦^{1,2}, 安 宁³, 姜海峰^{1,2}

(1. 贵州师范大学地理与环境科学学院, 贵州贵阳 550001; 2. 贵州省山地资源与环境遥感应用重点实验室, 贵州贵阳 550001;
3. 贵州省第三测绘院, 贵州贵阳 550001)

摘要:为合理利用喀斯特山区的土地,选取贵州省贵阳市作为研究区域,基于 Logistic-CA-Markov 模型预测不同情境下 2020 年贵阳市土地利用情况并对土地利用变化驱动下的生态系统服务价值(ESV)进行评估。结果表明,贵阳市在 2000—2010 年年间,草地、耕地、林地均有向居民工矿用地转移的趋势,居民工矿用地面积增加 202.53 km²,耕地面积减少了 452.90 km²,ESV 呈上升趋势,林地生态系统服务价值贡献最大;借助 Logistic-CA-Markov 模型模拟出贵阳市 2010 年土地利用格局,得到其 Kappa 系数约为 0.78,说明模拟的效果较好,经济快速发展情境下的贵阳市 2020 年居民工矿用地较自然情境下的面积增加更多,林地、草地、耕地均有所减少,在空间上主要以城区为中心扩展;基于预测结果评估土地利用变化驱动下的 ESV,2010—2020 年年间各土地利用类型服务价值均有所下降,情境 II 中 ESV 下降了 87.93 千万元,经济建设对生态环境已经产生了负面影响,喀斯特山区都市的生态环境形势仍然严峻。

关键词:土地利用变化预测;Logistic-CA-Markov 模型;生态系统服务价值(ESV);喀斯特山区

中图分类号: F301.24 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)09-0217-06

20 世纪以来,人类可利用的土地资源随着人口的加剧而变得越来越少,尤其是人地矛盾日益深化,土地利用的合理性与否逐渐引起世界关注。土地利用/土地覆被变化在全球环境变化和可持续发展中占有重要的地位^[1]。土地利用的变

化时刻改变着区域乃至全球生态环境的变化^[2],研究土地利用变化对生态系统服务价值的影响及相互作用关系具有重要意义^[3]。国外学者 Kumar 等结合 Markov 模型和遥感技术预测 Tamil Nadu 的土地利用结构^[4];Xia 等基于元胞自动机(cellular automate, CA)和神经网络(neural-network, NN)模型预测土地利用动态变化^[5];Yang 等将人工神经网络—元胞自动机(artificial neural network—cellular automata, ANN-CA 模型)和景观格局指数(landscape pattern indice, LPI)结合起来预测未来土地利用情况^[6]。国内学者对于喀斯特山区土地利用变化的研究主要有王磊等采用人工神经网络与元胞自动机的耦合模型对喀斯特地区的土地利用格局变化进行模

收稿日期:2016-10-14

基金项目:国家自然科学基金(编号:41161002);贵州省省长基金[编号:黔省专合字(2011)46号]。

作者简介:余晓芳(1994—),女,江西上饶人,硕士研究生,研究方向为地理信息系统与遥感应用。E-mail:1528525436@qq.com。

通信作者:安裕伦,硕士,教授,研究方向为自然地理学、GIS 和环境遥感。E-mail:anyulun@126.com。

[11]宋 芊.耕地质量等别变化监测分区选取研究[D].北京:中国地质大学(北京),2014.

[12]吕慧敏,吴克宁,周 勇,等.基于农用地分等的耕地质量主导限制型研究[J].中国农业资源与区划,2015,36(7):11-18.

[13]覃靖骅,王观松,刘 洋,等.农用地分等成果在农业结构调整中的应用——以广东省连州市为例[J].广东农业科学,2007(3):96-98.

[14]罗光花.井工煤矿区土地复垦研究[D].昆明:昆明理工大学,2015.

[15]葛 文.山东烟台地区土壤地球化学环境与优质苹果生产的适应性评价[D].北京:中国地质大学(北京),2013.

[16]高军波,杨瑞东,陶 平,等.贵州镇宁泥盆系大型重晶石矿床地球化学特征及其成因研究[J].现代地质,2013,27(1):46-55.

[17]魏 敏,冯海艳,杨忠芳.北京市大气颗粒物中 Cd 的地球化学分布特征及其生态风险评估[J].现代地质,2012,26(5):983-988.

[18]高 宇,杨忠芳,张玲燕,等.运用地球化学调查数据研究银川盆地土壤环境污染程度[J].现代地质,2012,26(5):972-974.

[19]刘需珈,吴克宁,赵华甫.基于农用地分等与土地质量地球化学评估的耕地质量监测类型研究[J].资源科学,2015,37(1):37-44.

[20]刘需珈,吴克宁,高 硕.基于耕地综合质量的新增建设用地布局优化[J].江西农业大学学报,2014,36(3):692-698.

[21]刘需珈,吴克宁,赵华甫,等.基于耕地综合质量的基本农田布局优化——以河南省温县为例[J].中国土地科学,2015,29(2):54-59.

[22]刘需珈,吴克宁,赵华甫.河南省温县吨粮田高标准基本农田选址研究[J].中国农业资源与区划,2015,36(3):10-17.

[23]路 婕,李 玲,吴克宁,等.基于农用地分等和土壤环境质量评价的耕地综合质量评价[J].农业工程学报,2011,27(2):323-329.

[24]史文娇,汪景宽,边振兴,等.黑龙江北部土壤中主要重金属和微量元素状况及其评价[J].土壤通报,2005,36(6):880-883.

拟^[7];周传艳等通过对贵州省生态系统服务价值进行评估探讨喀斯特地区生态系统服务功能特征^[8];罗俊等以土地利用和生态服务功能变化为基础揭露喀斯特地区土地利用变化下的生态系统服务价值变化特征^[9];熊鹰等参照中国陆地生态系统单位服务价值系数根据土地利用变化对喀斯特区生态系统服务价值进行估算^[10];李正等采用灰色模型对区域土地利用构成和生态系统服务价值进行预测^[3];赵国梁等基于 CILE-S 模型揭示广西喀斯特山区生态系统服务价值的时空变化规律^[11]。但是很少有学者基于 Logistic-CA-Markov 模型对喀斯特山区土地利用格局的模拟结果来预测分析其驱动下的生态系统服务价值,喀斯特山区生态环境脆弱,结构复杂,人地矛盾尤为突出,人均耕地少,经济条件落后,评估及模拟该区域生态系统的服务价值可以了解各生态系统的重要性及其未来发展动向,可为喀斯特地区生态环境建设和土地利用结构的优化调整提供决策参考,贵阳市作为典型喀斯特区域之一,研究其土地利用演变规律有利于了解喀斯特山区土地的演变趋势。以贵州省贵阳市为研究区域,基于 CA-

Markov 模型引入 Logistic 修正 CA 的转换规则,建立 Logistic-CA-Markov 模型,从空间和数量上预测未来贵阳市土地利用结构,并在此基础上研究土地利用变化驱动下的生态系统服务价值(ESV)的变化规律。

1 研究区概况与数据处理

1.1 研究区概况

贵阳市是贵州省的省会城市,位于中部偏北地区,包括 6 区(白云区、乌当区、观山湖区、云岩区、南明区和花溪区)3 县(息烽县、开阳县和修文县)1 市(清镇市)(图 1),位于 $106^{\circ}27' \sim 107^{\circ}03'E$ 、 $26^{\circ}11' \sim 26^{\circ}55'N$ 之间,东与瓮安县、龙里县、福泉县接壤,南接惠水县,西靠织金县、平坝县,北邻金沙县、遵义县,总面积约为 $8\,043.14\text{ km}^2$ 。海拔最高为 $1\,738\text{ m}$,最低为 508 m ,主要发育深中丘、浅中丘,深切割中山和中切割低中山地貌,土壤主要以硅铝质中层黄壤和中层黄色石灰土为主。研究区属于亚热带湿润温和型气候,年均温为 $15.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,冬无严寒,夏无酷暑,自然资源丰富。

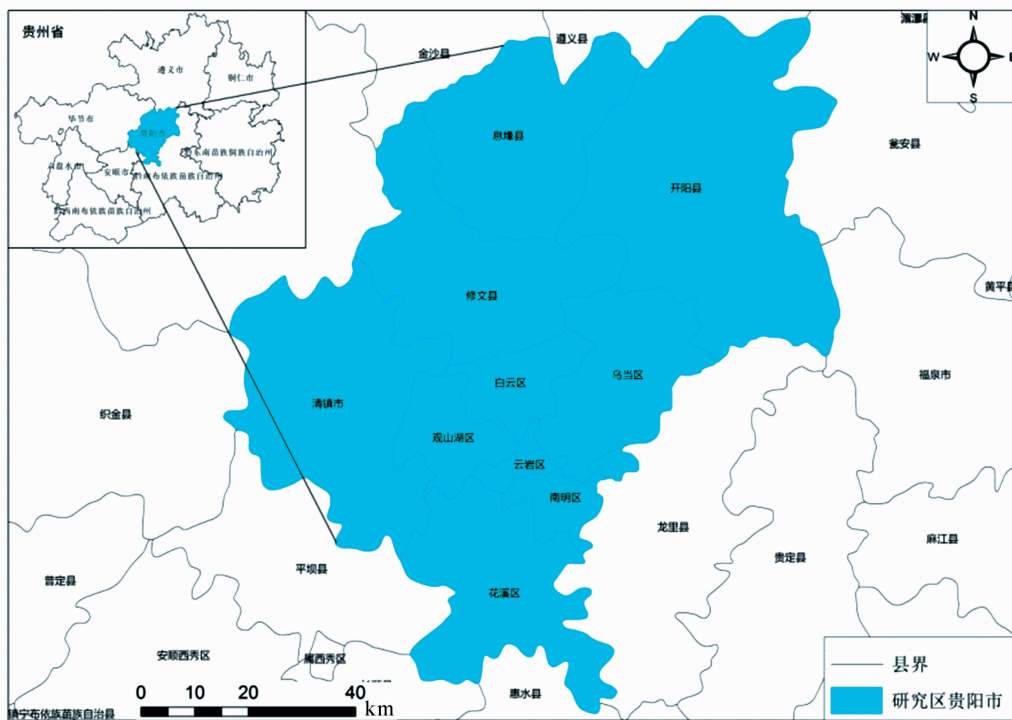


图1 研究区地理位置

1.2 数据来源与处理

社会经济数据来源于贵州省 2010 年人口统计和 GDP 数据,基础地理空间数据主要来源于贵州省 2010 年交通、水系数据和分辨率为 30 m 的 DEM 数据。土地利用数据来源于贵州省生态环境 10 年(2000—2010 年)变化遥感调查与评估项目,具体做法是以 $1:5\text{ 万}$ 地形图为基础,对 3 期遥感影像数据采用监督分类和目视解译相结合的方法进行土地利用的遥感解译,并进行野外数据核查。参考地形图上的土地利用分类,按照《土地利用现状调查技术规程》中使用的土地利用现状体系,根据土地的用途、利用方式、覆盖特征等因素,我国土地可以被分为 8 大类、46 小类,8 大类土地分别是耕地、园地、林地、牧草地、居民点及工矿用地、交通用地、水域和未利用

地。根据研究需要和研究区实际情况,共划分出 6 种土地利用类型,分别是草地、耕地、林地(林地和园地)、未利用地、居民工矿用地(居民点及工矿用地和交通用地)和水域,得到 2000 年、2005 年、2010 年贵阳市土地利用数据(图 2)。

所选用的矢量和栅格数据统一投影坐标系,每个栅格大小统一重采样为 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ 。制作各地类适宜性图集,须分别从 2005 年、2010 年中提取各地类数据,该地类土地利用属性赋值为 1,其他地类赋值为 0。主要选取的土地利用变化影响因子为自然因子(dem, slope)、社会经济因子(人口、GDP)、可达性因子(交通、水系),将人口和 GDP 通过处理得到贵阳市人口密度和人均 GDP 栅格数据,交通和水系在 Arcgis 中通过计算欧氏距离(即指计算每个栅格中心到交通和水系的距

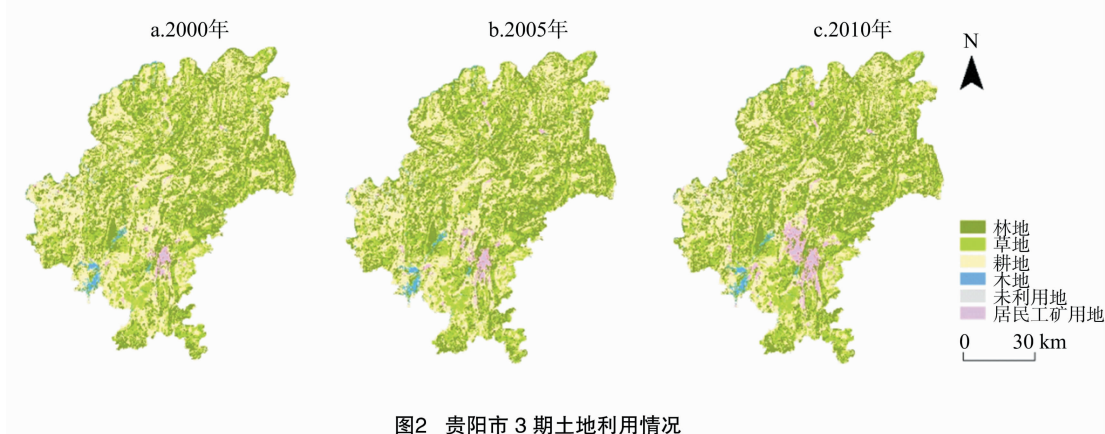


图2 贵阳市 3 期土地利用情况

离远近)得到距交通距离和距水系距离的栅格数据,最后将土地利用变化影响因子和土地利用数据均转化为 IDRISI 软件所识别的 rst 格式,制作适宜性图集。

2 研究方法

2.1 Logistic 回归分析模型

Logistic 回归模型主要是指在 1 个变量和多个自变量之间形成多元回归关系,用来预测某一区域中某一事件概率发生的大小,主要是指建立各土地利用与影响因子之间的回归关系来预测某一区域中演变为某一土地利用的概率大小。某栅格出现某一种土地利用 i 的概率为 p_i ,回归方程为

$$\ln \left[\frac{p_i}{1 - p_i} \right] = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_n X_n。$$

式中: β_0 为常量; $\beta_1, \beta_2, \cdots, \beta_n$ 是回归系数; X_1, X_2, \cdots, X_n 为影响因素。

2.2 CA - Markov 模型

CA 于 20 世纪 40 年代末由 Neumann 等提出,就像许多的相同图灵机放置在格网之中并彼此连接在一起^[12],对于具有时空演化特征的地理复杂系统更具有优势。CA 主要由元胞、元胞空间、元胞邻居、时间和转换规则组成,其中以转换规则为核心。

马尔可夫 (Markov) 过程是一种具有“无后效性”的特殊随机过程^[13]。“无后效性”指某个随机过程在第 $(t+1)$ 步时刻的状态 $S(t+1)$ 与第 t 步以前的状态无关,仅与 t 时刻的状态 $S(t)$ 有关,此时随机过程 $S(t)$ 为一个马尔可夫链。土地利用概率转移矩阵能定量地说明土地利用之间的相互转移情况,表示事件从初始时刻的某一状态转移到下一时刻其他状态的可能性,状态是指土地利用,用 P_{ij} 表示土地利用 i 转化为土地利用 j 的转移概率, n 指土地利用,转移概率矩阵可表示如下:

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{n1} & p_{n2} & \cdots & p_{nn} \end{bmatrix}。$$

式中,须满足以下 2 个条件:① $P_{ij} \in [0, 1]$; ② $\sum_{j=1}^n P_{ij} = 1 (i, j = 1, 2, 3, \cdots, n)$ 。

CA 模型的空间概念比较强,能够很好地模拟复杂空间

的变化程度,Markov 模型的空间参数比较弱,而在数量变化上的预测较强^[14]。CA - Markov 模型将上述 2 种模型优点相结合,既从数量上模拟未来土地利用的情况,也从空间上模拟未来土地利用的分布情况。以 CA 模型中的转换规则为核心,引入 Markov 模型中产生的土地利用转移矩阵进行修正,最后将 Logistic 回归模型引入了自然、社会和可达性等影响因素,再次修正 CA 模型进而提高 CA - Markov 模型模拟的精度,最终形成 Logistic - CA - Markov 模型。

2.3 生态系统服务价值计算模型

ESV 是指生态系统服务价值 (元); A_k 是研究区第 k 种土地利用类型分布面积 (km^2); VC_k 为生态价值系数 [元/(年 · km^2)],即单位面积生态系统服务的价值。ESV 作为生态环境效应的量化指标,能够根据 ESV 的评估结果来揭示生态环境效应。

$$ESV = \sum A_k \times VC_k。$$

3 结果与分析

3.1 土地利用类型变化

从表 1 中可以看出,贵阳市 2000 年主要是以耕地、林地为主,所占比例分别是 41.46%、40.83%,即主要以农林地为主,且处于绝对优势。2010 年草地、未利用地、水域无明显变化,耕地面积比例减少 5.63 个百分点,林地、居民工矿用地的面积比例分别增加 2.65、2.52 个百分点,这是一种城市化进程加速发展的表现,居民工矿用地的增加不仅体现在贵阳市,在全国范围内这种趋势也较明显,这种趋势在大力寻求经济发展的城市将继续保持,耕地的减少主要是因为采取了退耕还林政策及人类活动的影响。从土地利用类型变化转移矩阵可知,耕地、林地、草地会向居民工矿用地发展,其中耕地面积转移最大为 180.26 km^2 ,居民工矿用地面积从 192.47 km^2 增加到 395.00 km^2 ,从侧面反映了贵阳市的经济在不断地加速发展,与之相关的经济建设如火如荼地开展着。由表 2 可知,耕地除了转化为居民工矿用地,向林地转移的面积达到 231.84 km^2 ,这与贵阳市注重生态保护,采取退耕还林政策息息相关,与国家要求发展生态文明建设也高度吻合。

3.2 土地利用预测与检验

对各土地利用建立相应的适宜性图,组成适宜性图集,在 IDRISI 软件的支持下,利用 Logistic - CA - Markov 模型,得到预测的贵阳市 2010 年土地利用数据,与现有的土地利用数据

表 1 贵阳市 2000—2010 年土地利用面积及比例

类别	2000 年		2010 年		变化量 (km ²)	变化率 (%)	动态度 (%)
	土地利用面积(km ²)	比例(%)	土地利用面积(km ²)	比例(%)			
草地	979.21	12.18	1 016.76	12.64	37.55	0.46	0.38
耕地	3 334.99	41.46	2 882.09	35.83	-452.90	-5.63	-1.36
林地	3 284.09	40.83	3 496.84	43.48	212.75	2.65	0.65
未利用地	152.23	1.89	152.24	1.89	0.01	0	0
居民工矿用地	192.47	2.39	395.00	4.91	202.53	2.52	10.52
水域	100.15	1.25	100.21	1.25	0.06	0	0.01

表 2 贵阳市 2000—2010 年土地利用变化转移矩阵

类别	草地	耕地	林地	未利用地	居民工矿用地	水域	总计
草地	976				3.21		979.21
耕地	40.77	2 882.09	231.84	0.01	180.26	0.02	3 334.99
林地			3 264.99		19.06	0.04	3 284.09
未利用地				152.23			152.23
居民工矿用地					192.47		192.47
水域						100.15	100.15
总计	1 016.76	2 882.09	3 496.84	152.24	395.00	100.21	8 043.14

进行对比分析(图 3)。引用 Kappa 系数来对预测数据的精度进行检验,Kappa 系数一般用来评价遥感数据的分类精度,分析 2 个图件的相似性^[15]。计算公式如下:

$$Kappa = \frac{P_o - P_c}{P_p - P_c}$$

式中, P_o 为栅格模拟一致的比例, P_c 为随机情况下栅格模拟一致的比例, P_p 为理想情况下的栅格模拟一致比例。其中 Kappa 系数范围为 0~0.40,表明模拟性较差,模拟效果不佳;Kappa 系数范围为 0.41~0.75,表明模拟性一般,模拟效果一

般;Kappa 系数范围为 0.76~1.00,表明模拟性较高,模拟效果较好。

由表 3 可以得出,研究区中栅格总数为 8 936 874 个,其中空间模拟一致的栅格数为 7 361 221 个, $P_o=0.82$,随机情况下 $P_c=1/6$,理想情况下 $P_p=1$,根据上面公式可知,Kappa 系数约为 0.78。由 Kappa 系数与模型模拟效果关系可知,利用 Logistic-CA-Markov 模型模拟一致性较高,模拟效果较好,说明利用此模型用来模拟喀斯特山区的土地利用是比较有效和可信的。

a. 实际土地利用类型图

b. 模拟土地利用类型图

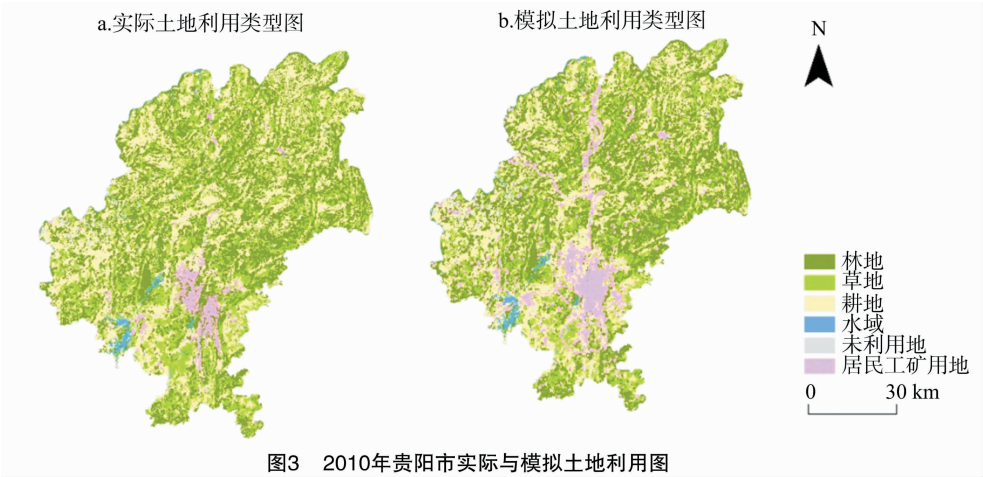


图3 2010年贵阳市实际与模拟土地利用图

表 3 2010 年贵阳市实际与预测土地利用对比

土地利用	2010 年实际 栅格个数(个)	2010 年预测 栅格个数(个)	栅格预测一 致个数(个)	准确率 (%)
草地	1 129 567	1 128 673	952 341	84.31
耕地	3 202 767	2 733 150	2 560 770	79.95
林地	3 884 688	3 633 097	3 265 877	84.07
未利用地	169 354	155 944	151 680	89.56
居民工矿用地	439 045	1 177 505	329 555	75.06
水域	111 453	108 505	100 998	90.62
栅格总数	8 936 874	8 936 874	7 361 221	82.37

3.3 不同情境下的未来土地利用预测

利用 2000、2010 年土地利用数据建立土地利用概率转移矩阵预测 2020 年贵阳市土地利用情况。2012 年国发 2 号文件是首个从国家层面系统支持贵州发展的综合性政策文件,贵阳处在黔中经济区的核心地位,经济发展更加飞速,居民工矿用地的扩张比较迅速,将这种发展模式称为经济快速发展模式。通过参考和分析现有的资料,可以发现居民工矿用地大都来自林地、耕地、草地的转化,可以拟定将林地、耕地、草地转化为居民工矿用地的概率分别提高 30%、20%、10%,得到经济快速发展模式的概率转移矩阵,分别模拟自然增长情

境下和经济快速发展情境下的贵阳市 2020 年土地利用情况(图 4)。

根据贵阳市 2020 年模拟结果(表 4)可知,草地、耕地、林地、未利用地、水域的面积均有不同程度的减少,居民工矿用地面积大幅度增加。在自然发展情境(情境 I)下,耕地减少的面积最大,减少了 755.66 km²,居民工矿用地增加的面积最大,增加了 945.92 km²,其中耕地大部分转化为居民工矿用地。在经济快速发展情境(情境 II)下,居民工矿用地的增加速度明显加快,与情境 I 相比,草地、耕地、林地的面积减少幅度加大,林地面积减少 229.88 km²,耕地减少的面积最

大为 885.08 km²,草地减少了 96.77 km²,居民工矿用地增加了 1 243.31 km²,约是 2010 年居民工矿用地面积的 3 倍。从空间上看,情境 I 下林地和草地的分布比较均匀,居民工矿用地的扩展主要在主城区,尤其是云岩区、观山湖区、南明区和花溪区。林地和耕地主要分布在 3 县 1 市和花溪区的南部区域。情境 II 下的居民工矿用地的扩展主要是在云岩区、南明区的北部以及修文县、开阳县部分地区,主要因为这些区域的林地和耕地转化为居民工矿用地的概率大,故在情境 II 下转化为居民工矿用地的可能性较大。

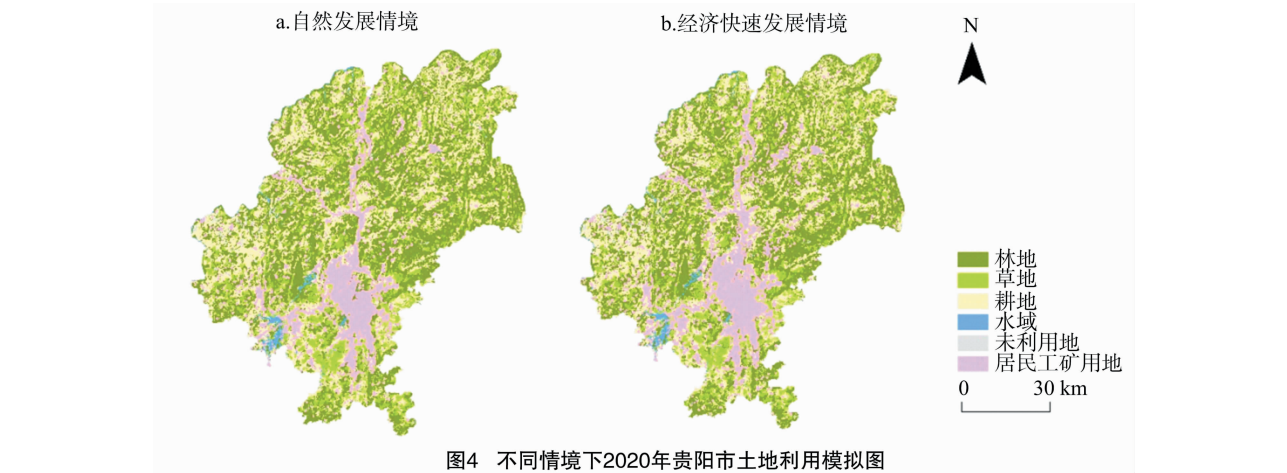


图4 不同情境下2020年贵阳市土地利用模拟图

表 4 不同情境下 2020 年贵阳市土地利用类型模拟面积

土地利用类型	模拟面积					
	2020 年自然 发展情境	2020 年经济 发展情境	2020 年情 境差异值	2010 年 实际值	自然发展情境 与 2010 年差值	经济发展情境 与 2010 年差值
草地	924.88	919.84	-5.04	1 016.61	-91.73	-96.77
耕地	2 126.83	1 997.41	-129.42	2 882.49	-755.66	-885.08
林地	3 429.28	3 266.34	-162.94	3 496.22	-66.94	-229.88
未利用地	129.56	129.56	0.00	152.42	-22.86	-22.86
居民工矿用地	1 341.06	1 638.45	297.40	395.14	945.92	1 243.31
水域	91.58	91.58	0.00	100.31	-8.73	-8.73

3.4 土地利用变化驱动下的 ESV 评估

基于前人的研究成果和贵州实际情况,得出贵州省与土地利用类型相对应的生态系统类型及其生态价值系数(表 5)^[16]。

表 5 贵州省与土地利用类型相对应的生态系统类型及其生态价值系数

土地利用类型	生态系统类型	生态价值 [元/(年·hm ²)]
耕地	农作物	3 118.2
林地	亚热带南方林	17 341.3
利用牧草地	山坡草地	8 924.7
水域	湖泊、水库、河流	40 676.4
建设用地	城镇、交通等	-653.3
未利用地	荒山	371.4

将每种土地利用类型与最接近的生态系统类型结合起来,利用 2000、2010 年和 Logistic - CA - Markov 模型预测的土地利用类型数据计算 2000—2020 年贵阳市各生态系统服务价值(表 6)。总体上看,2000—2010 年,贵阳市 ESV 呈增长趋势,从 80.093 亿元上升到 82.576 亿元,增加 2.483 亿

元。其中耕地、居民工矿用地的生态系统服务价值下降,分别下降 1.412、0.132 亿元;林地、草地、水域的生态系统服务价值上升,分别增加 3.690、0.335、0.002 亿元。从各土地利用类型生态系统服务总价值的比例来看,林地生态系统服务价值占据绝对优势,比例为 71.11%、73.44%;居民工矿用地服务系统生态价值系数为负值,且近 10 年来其他地类均有不同程度的往居民工矿用地转移的趋势,居民工矿用地面积有所增加,但是由于林地生态系统面积也在增加且其生态价值系数较大,故能弥补居民工矿用地生态服务价值的负面影响。对贵阳市 2 种情境下的 ESV 进行预测,2010—2020 年贵阳市 ESV 呈下降趋势,情境 I 和情境 II 中 ESV 为 77.251、73.783 亿元,分别下降 5.325、8.793 亿元。各土地利用类型的 ESV 均呈现下降趋势,居民工矿用地面积大幅度增加对 ESV 的负面影响更大。林地、草地和耕地生态系统仍然是生态系统服务价值贡献最大的土地利用类型,占据了 90% 以上的生态系统服务价值。2 种情境下的贵阳市 ESV 呈下降趋势表明贵阳市经济的发展对生态环境已经产生了负面的影响,必须加强退耕还林还草,在大力发展经济建设的同时注重生态环境的保

表 6 贵阳市各生态系统服务价值量

土地利用类型	2000 年		2010 年		情境 I		情境 II		2000—2010 年	2010 年 - 情	2010 年 - 情
	价值量 (亿元)	比例 (%)	价值量 (亿元)	比例 (%)	价值量 (亿元)	比例 (%)	价值量 (亿元)	比例 (%)	价值变化 (亿元)	境 I 价值变化 (亿元)	境 II 价值变化 (亿元)
耕地	10.399	12.98	8.987	10.88	6.632	8.59	6.228	8.44	-1.412	-2.355	-2.759
林地	56.950	71.11	60.640	73.44	59.468	76.98	56.643	76.77	3.690	-1.172	-3.997
草地	8.739	10.91	9.074	10.99	8.254	10.68	8.209	11.12	0.335	-0.820	-0.865
水域	4.074	5.09	4.076	4.93	3.725	4.82	3.725	5.05	0.002	-0.351	-0.351
居民工矿用地	-0.126	-0.016	0.258	-0.031	-0.876	-1.13	-1.070	-1.45	-0.132	-0.618	-0.812
未利用地	0.057	0.07	0.057	0.07	0.048	0.06	0.048	0.07	0.000	-0.009	-0.009
总计	80.093	100.00	82.576	100.00	77.251	100.00	73.783	100.00	2.483	-5.325	-8.793

护,尽量引导土地利用类型往生态系统服务价值高的方面转变。

4 结论

通过对贵阳市 2000—2010 年近 10 年的土地利用分析,可知耕地的面积减少 5.63 百分点,其他地类面积均有不同程度的增加,其中居民工矿用地增加面积幅度较大,从 192.47 km² 增加到 395.00 km²,草地、耕地、林地均有向居民工矿用地转移的趋势。ESV 呈上升趋势,林地生态系统服务价值贡献最大,林地、草地生态服务价值有所增加,耕地和居民工矿用地生态服务价值继续下降,未利用地保持稳定。

借助 Logistic - CA - Markov 模型模拟出贵阳市 2010 年土地利用格局,得到其 Kappa 系数约为 0.78,表明此模型结果具有较高的可信度。模拟贵阳市 2020 年不同情境下土地利用情况可知:自然情境下,耕地面积减少了 755.66 km²,草地和林地均有不同程度减少;经济发展情境下,林地和耕地面积减少的幅度加大,居民工矿用地面积增加迅速。从空间上可发现居民工矿用地主要以主城区为中心扩展,林地和耕地主要分布在乡镇上。

结合预测的结果评估土地利用变化驱动下的 ESV,可知在 2010—2020 年,各土地利用类型的 ESV 均呈现下降趋势,情境 II 的经济建设更加明显,居民工矿用地生态服务系统对 ESV 的负影响更大,ESV 下降了 8.793 亿元。ESV 能够揭示生态环境效应,ESV 下降表明经济建设对生态环境产生了阻碍作用,喀斯特山区生态环境形势仍然严峻。

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/土地覆被变化的国际研究动向[J]. 地理学报,1996,51(6):553-558.

[2]荣月静,张慧,王岩松. 基于 Logistic - CA - Markov 与 InVEST 模型对南京市土地利用与生物多样性功能模拟评价[J]. 水土保持研究,2016,23(3):82-89.

[3]李正,王军,白中科,等. 贵州省土地利用及其生态系统服务价值与灰色预测[J]. 地理科学进展,2012,31(5):577-583.

[4]Kumar S, Radhakrishnan N, Mathew S. Land use change modeling using a markov model and remote sensing[J]. Geomatics, Natural Hazards and Risk,2014,5(2):145-156.

[5]Xia L, Yeh A G. Neural - network - based cellular automate for simulating multiple land use change using GIS[J]. Internation Journal of Geographical Information Science,2002,16(4):323-343.

[6]Yang X,Chen R, Zheng X Q. Simulating land use change by integrating ANN - CA model and landscape pattern indices [J]. Geomatics, Natural Hazards and Risk,2016,7(3):918-932.

[7]王磊,王羊,蔡运龙. 土地利用变化的 ANN - CA 模拟研究——以西南喀斯特地区猫跳河流域为例[J]. 北京大学学报(自然科学版),2012,48(1):116-122.

[8]周传艳,陈训,刘晓玲,等. 基于土地利用的喀斯特地区生态系统服务功能价值评估——以贵州省为例[J]. 应用与环境生物学报,2011,17(2):174-179.

[9]罗俊,王克林,陈洪松. 喀斯特地区土地利用变化的生态服务功能价值响应[J]. 水土保持通报,2008,28(1):19-24.

[10]熊鹰,谢更新,曾光明,等. 喀斯特区土地利用变化对生态系统服务价值的影响——以广西环江县为例[J]. 中国环境科学,2008,28(3):210-214.

[11]赵国梁,胡业翠. 基于 CLUE - S 模型的广西喀斯特山区生态系统服务价值变化研究[J]. 水土保持研究,2014,21(6):198-203.

[12]杨俊,解鹏,席建超,等. 基于元胞自动机模型的土地利用变化模拟——以大连经济技术开发区为例[J]. 地理学报,2015,70(3):461-475.

[13]除多,张懿锂,郑度. 拉萨地区土地利用变化情景分析[J]. 地理研究,2005,24(6):869-877.

[14]黄晓磊,刘东云,冯仲科,等. 基于 CA - Markov 模型的天津市土地利用预测研究[J]. 中国农业科技导报,2012,14(5):84-89.

[15]布仁仓,常禹,胡远满,等. 基于 Kappa 系数的景观变化测度——以辽宁省中部城市群为例[J]. 生态学报,2005,25(4):778-784.

[16]刘宇,陈学华,罗勇. 土地利用变化对生态系统服务价值的影响——以贵州省为例[J]. 西北林学院学报,2008,23(1):219-223.