

文章编号: 1008 - 2786 - (2018)1 - 122 - 11

DOI: 10. 16089/j. cnki. 1008 - 2786. 000309

贵州六盘水市土地利用动态模拟研究

薛 贝^{1,2}, 张红旗^{2*}, 刘长星¹, 许尔琪², 蔺小虎¹

(1. 西安科技大学 测绘科学与技术学院 西安 710054;

2. 中国科学院地理科学与资源研究所 陆地表层格局与模拟重点实验室 北京 100101)

摘 要: 受经济快速发展和石漠化日益严重的影响, 喀斯特区域土地利用发生了显著的变化。为探究喀斯特区域未来土地利用动态变化及空间分布, 本文选取喀斯特土地退化和石漠化严重的贵州省六盘水市为研究对象, 基于该区域 1990 年、2000 年和 2010 年三期土地利用现状数据, 借助 ARCGIS 和 SPSS18.0 软件分析了研究区土地利用动态变化和各驱动因素对土地利用变化的影响机制, 结合 Markov 模型和 DLS 模型模拟了该区域 2030 年在自然增长、土地优化、经济发展和生态保护四种不同情景下的土地利用空间分布。结果表明: (1) 2000 年以后, 人类对土地资源的开发利用强度和速率明显增大, 对土地利用变化的影响程度也迅速增加, 主要表现在林地、建设用地和水域面积大幅度增加和耕地面积减少。(2) 以 2000 - 2010 年的土地利用现状数据为基础, 利用 Markov 模型预测未来不同情景下的土地利用需求数据, 然后输入 DLS 模型得到不同情景下土地利用空间格局变化, 结果显示: 林地和建设用地面积有不同幅度的增加, 主要归因于耕地和草地面积的减小, 这将是未来该区域土地利用变化的趋势。(3) 验证 Logistic 回归精度的 ROC 曲线面积值均大于 0.7, Kappa 值达 96.1%, 说明模型对于研究区具有良好的适用性, 为该区域后期土地资源的合理分配和更好的发展规划提供了一定的参考。

关键词: 土地利用; logistic 回归; Markov 模型; DLS 模型; 喀斯特

中图分类号: F301.24

文献标志码: A

土地利用变化研究是全球环境变化与可持续发展研究的焦点^[1], 主要包括不同地域和多尺度的土地利用动态模拟^[2]、典型地域的土地利用变化分析^[3]和特定情景约束的土地利用变化模拟^[4]等, 而区域和地方尺度上的研究是参与全球土地利用变化和环

境变化研究的具体途径^[5]。研究区域土地利用变化特征、动态变化过程、驱动因素影响和未来空间布局, 对后期的土地资源管理和开发利用都具有重要意义, 尤其是因土地利用不合理而导致石漠化严重的喀斯特区域。喀斯特区域属于土地利用变化的敏感区域, 其地形破碎, 土层贫瘠, 水土流失严重, 脆弱的生态环境破坏严重且不易恢复。近年来, 针对喀斯特区域土地利用变化的研究也日益深入, 如探讨贵州典型喀斯特区域在不同尺度上的土地利用动态变化过程^[6]; 分析土地利用及其相关社会经济的变化特征, 提出人类驱动因素与土地利用变化之间的作用机制^[7]; 借助 SPSS 软件对影响河池市土地利用变化的社会经济因素进行回归分析, 得出影响其耕地变化的社会驱动因素^[8]。以上主要研究了典型区域土地利用变化特征及社会驱动因子之间的作用机制, 缺少对自然环境因子影响的分析, 而针对典型喀斯特土地变化的研究区域较为局限, 主要

收稿日期(Received date): 2016 - 10 - 13; 改回日期(Accepted date): 2017 - 03 - 30

基金项目(Foundation item): 国家重点基础研究发展计划(973 计划): 土地空间异质性及其资源生态效应(2015CB452702)。[National Key Basic Research and Development Program (973 Program): The Ecological Effect of Land Spatial Heterogeneity and Its Resources(2015CB452702)]

作者简介(Biography): 薛贝(1991—), 女, 陕西蓝田人, 硕士研究生, 主要研究方向为 GIS 与土地利用变化。[Xue Bei(1991—), female, born in lantian, Shaanxi province, M. Sc. candidate, research on GIS and land use changes] E-mail: xuebei123@126.com

* 通讯作者(Corresponding author): 张红旗(1963—), 男, 副研究员, 主要从事土地评价、土地利用及区域农业发展研究。[Zhang Hongqi, male, associate professor, research on land evaluation, land use and the development of regional agriculture] E-mail: zhanghq@igsnr.ac.cn.

集中在猫跳河流域,如文献[9]运用 CLUE-S 模型研究了喀斯特区域—贵州猫跳河流域土地利用在未来十年不同情景驱动下的土地利用空间动态布局^[9];文献[10]分析研究了贵州喀斯特山区坡度大于 25° 的陡坡区域的土地利用变化过程、规律和驱动因素^[10];而文献[11]则系统研究了猫跳河流域的土地利用变化动态特征和空间分布格局,表明人类活动对土地的干扰趋于高海拔和陡坡地区^[11]。粗放式的土地利用是土地退化乃至石漠化形成的主导因素^[12,13],而土地退化对未来土地利用的空间分布也有一定的影响。现有的研究主要针对喀斯特区域土地利用变化与常规影响因子的驱动作用,缺乏对喀斯特区域土地退化及石漠化与土地利用结构变化之间的影响分析。因此,本文针对西南喀斯特土地退化和石漠化严重的六盘水市域,借助 ARCGIS 和 SPSS18.0 软件分析了近 20 年来研究区的土地利用的动态变化特征,提出包括石漠化等级在内的土地利用影响因素及其作用机制,然后结合 Markov 模型与 DLS 模型,模拟了未来四种不同情景下土地利用的空间分布,得出了 2030 年各类型土地利用的需求数据及空间布局。不仅验证了 DLS 模型在喀斯特区域的实用性,还为该区域土地资源的合理开发利用和可持续发展提供了一定的参考依据。

1 数据与方法

1.1 研究区与数据来源

六盘水市位于贵州西部的乌蒙腹地,多为山地、丘陵地带,东接安顺,西临曲靖,南靠依族苗族自治州,北连毕节,总面积 9965.37 km²,平均海拔 1400 ~ 1900 m,地势起伏较大,西高东低,北高南低,属于低纬度高海拔山地,其地理空间差异明显,自然环境复杂,动植物种类丰富多样,土地利用类型繁多且分布差异较大,为地方和区域多尺度的土地利用变化研究提供了有利的条件。

综合考虑喀斯特区域特有的土地利用结构及其动态变化特征,分析驱动土地利用数量和空间分布变化的影响因素,研究数据包括六盘水市 1990 年、2000 年和 2010 年三期土地利用数据、土壤数据、气候数据、地形数据和各类社会经济数据。其中,土地利用数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心 (<http://www.resdc.cn>) 提供的 1:10 万土地利用解译数据,气候数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心 (<http://www.resdc.cn>) 提供 30 m 分辨率

的降水和气温数据,土壤特征数据集来源于西部数据中心 (<http://westdc.westgis.ac.cn/>) 提供 30 m 分辨率的土壤类型、岩性等数据,地形数据包括 90 m 分辨率的 DEM、坡度、坡向数据,均来源于地理空间数据云 (Geospatial Data Cloud) (<http://www.gscloud.cn/>),社会经济数据来源于六盘水市的经济和人口统计年鉴。结合研究区域特点及模型运行的精度要求,利用 ARCGIS 软件将所有数据统一处理为 1000 m 分辨率的栅格数据。研究的土地利用类型变化主要包括耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地 6 大类。

1.2 土地利用变化速度

土地利用动态度可以定量直观的表达土地利用类型变化的数量和速度,对分析比较各时期的变化快慢程度有重要意义^[14]。根据不同的研究对象,可分为单一土地利用动态度和综合土地利用动态度。

1.2.1 单一土地利用动态度

单一土地利用动态度是表达一个特定时期内某一土地利用类型变化的数量和幅度,反映人类的开发利用活动对某一类土地数量变化和空间分布变化的影响程度^[15-16]。其公式为:

$$K = \frac{U_a - U_b}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中, K 为特定时段内某种土地利用类型的动态度; U_a 、 U_b 分别表示特定时段的初期和末期某种土地利用类型的数量; T 表示研究时段, T 设置为 1 时, K 表示某种土地利用类型的变化幅度, T 设置为年时, K 就是该研究区内某种土地利用的年变化率。

1.2.2 综合土地利用动态度

综合土地利用动态度表述的是研究区内土地利用变化的强度,反映了人类活动对土地利用的影响程度,值越大,表明土地利用动态变化越严重^[17-18]。其公式表达为:

$$S = \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{\Delta S_{i-j}}{S_i} \right) \right] \times \frac{1}{t} \times 100\% \quad (2)$$

式中, S 是 t 时段内研究区的土地利用综合动态度, ΔS_{i-j} 为某一时段内 i 类土地利用可以转换为其他土地类型的总面积; S_i 为研究初期第 i 类土地的总面积; t 为土地利用发生变化的时间段。

1.3 土地利用驱动因子的选取

土地利用变化主要受自然环境和社会经济因素的共同影响,在不同的发展地区,自然环境与社会经济对土地利用变化的影响程度各不相同^[19]。对于经济发达的区域,社会经济因素对土地利用的影响

占主导地位,而对于经济落后、土地利用程度低的区域,自然环境对土地利用的影响作用较大。

本文结合喀斯特区域土地利用特点,选取具有稳定影响的岩性、土壤类型、海拔等多个自然影响因素来解释该区域土地利用的变化特征。而喀斯特区域土地退化及石漠化现象较为严重,石漠化的加重必然会影响到土地利用的变化趋势,因此专门选取了石漠化等级作为一个不同于其他区域研究的驱动因子,以更合理的分析喀斯特山区土地利用变化特征和未来自土地利用变化趋势。土地利用影响因素名称及简要描述见表1。

表1 六盘水区域土地利用影响因素

Tab.1 Influence factors of land use in Liupanshui region

属性	名称	描述
自然环境 因子	DEM	每一个栅格的海拔高度
	坡向	每一个栅格的坡向
	坡度	每一个栅格的坡度
	年降雨量	每一个栅格的年降雨量
	年均温	每一个栅格的年均温
	岩性	每一个栅格的岩性
	土壤类型	每一个栅格的土壤类型
	植被类型	每一个栅格的植被类型
	石漠化等级	每一个栅格的石漠化等级
社会经济 因子	GDP	每一个栅格的国内生产总值
	POP	每一个栅格的人口密度
可达性	与道路距离	每一个栅格的中心到道路的最短距离
	与铁路距离	每一个栅格的中心到铁路的最短距离
	与水系距离	每一个栅格的中心到河流的最短距离

1.4 Logistic 回归

Logistic 回归是通过计算栅格单元上的一组可能引起土地利用变化的因子对土地利用转化的影响概率,从而得到的各驱动因子与土地利用变化之间的相互作用关系^[20]。其计算公式为:

$$\log\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = \beta_0 + \beta_1 \times X_{1i} + \beta_2 \times X_{2i} + \beta_3 \times X_{3i} + \dots + \beta_n \times X_{ni} \quad (3)$$

式中, P_i 为某栅格可能出现*i*类土地的概率; X_{ni} 为各个影响因素; β_n 为对应的回归系数,表示变量*X_i*对*P_i*的影响大小。在计算各驱动力与土地利用变化之间的关系时,Logistic 回归会自动剔除一些高度共线性且对土地利用影响较小的因素。

对于 Logistic 回归方程的解释,通常采用 ROC (Receiver Operating Characterist) 方法^[21],ROC 曲线面积值越接近 1,表明回归方程的拟合度越高,ROC 值大于 0.7 通常被认为选择的影响因素对因变量具有较好的解释能力^[22]。

1.5 Markov 转移矩阵

土地利用的动态变化具有 Markov 过程的性质^[23]。Markov 模型中,假设土地利用 $X(t)$ 在 $(n+1)$ 时刻的概率分布仅和时刻 n 有关,则随机过程 $X(t)$ 可被称为一个马尔科夫链,记条件概率:

$$P\{X_{(n+1)} = \frac{j}{X_{(n)}} = i\} = P_{ij(n)} \quad (4)$$

式中, $P_{ij(n)}$ 表示 n 的一步转换概率,并由此构成转换概率矩阵,如公式(5)。

$$\mathbf{P} = P_{ij(n)} = \begin{bmatrix} P_{11} & \dots & P_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{n1} & \dots & P_{nn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

利用 Markov 转移矩阵可以定量地分析两个时期各土地利用类型之间的转换关系^[24]。该矩阵满足:每个元素非负且每行和为 1。Markov 模型可表示为:

$$\mathbf{X}_{(n+1)} = \mathbf{X}_{(n)} \times \mathbf{P} \quad (6)$$

式中, $\mathbf{X}_{(n)}$ 、 $\mathbf{X}_{(n+1)}$ 分别表示预测对象在 n 、 $n+1$ 时刻的状态向量, \mathbf{P} 表示一步转移矩阵。

1.6 DLS 空间模拟

土地利用变化的研究中,模型是分析和研究土地利用变化原因和趋势的重要工具^[25],也是国内外研究的焦点。土地系统动态模拟模型(Simulation of Land System Dynamics, DLS)是我国邓祥征学者开发研究的一个模型工具。该模型通过对土地利用结构变化的分析和对栅格尺度上土地类型的驱动分布的分析研究,系统定量的反映土地利用变化的动态过程,模拟未来区域土地利用的空间变化,能较好地反应区域社会经济和自然系统对土地利用变化的影响,适用于从局部到全球、从均质到复杂景观的多尺度土地系统动态演化的模拟与分析^[26]。

因此,本研究选择 DLS 模型作为研究土地利用变化的模型。DLS 包括三个模块:土地利用结构变化情景分析、土地利用类型分布驱动分析和结构变化空间分配。其中,结构变化空间分配模块提供了每种用地类型年变化需求;分布驱动模块表示用地类型和驱动因素的空间统计关系,衡量驱动因素对用地类型分布的影响大小;结构变化空间分配模块通过分析栅格尺度上的土地供需平衡进而实现土地

利用的空间分配^[27]。

2 结果与分析

2.1 土地利用现状及变化分析

分析统计六盘水市1990年、2000年和2010年的3期土地利用类型图,得到该区域不同时期不同土地利用类型的面积及其比例如表2。

表2 不同时段六盘水市土地利用面积及比例

	1990年		2000年		2010年	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
耕地	2873.64	29.35	2874.36	29.36	2766.78	28.26
林地	3960.51	40.46	3963.40	40.49	4063.22	41.51
草地	2906.20	29.69	2902.58	29.65	2809.62	28.70
水域	3.03	0.03	3.17	0.03	23.38	0.24
建设用地	45.25	0.46	45.11	0.46	125.37	1.28
未利用地	0.67	0.01	0.67	0.01	0.93	0.01

(1)分析近20年来六盘水市域土地利用面积变化,其中,建设用地与水域面积迅速增加,变化幅度最大,分别从45.25 km²和3.03 km²增加到了125.37 km²和23.38 km²;耕地在1990—2000年期间,基本保持动态平稳状态,2000年面积减少了106.86 km²,比重降低为28.26%;在1990—2010年期间,随着退耕还林等一系列保护政策的变化,林地

面积增加102.71 km²,比重增加了2.59%,且在2000—2010年期间增加幅度较大;草地面积明显减少,从2906.20 km²下降到了2809.62 km²,比重减小了3.32%;未利用地面积很小,比重仅为0.01,处于变化平衡状态,在后续研究中不再进行分析。

(2)基于1990—2010年的土地利用变化数据计算六盘水市域的单一土地利用动态度。1990—2000年间,以草地面积减小、林地和水域面积增加最为明显,耕地和建设用地的面积变化较小;2000—2010年,各土地利用类型变化速度明显加快,其中,建设用地面积增加最快,达63.77%;水域面积增加速度为17.79%,林地面积增加速度较小;耕地和草地面积明显减少,其减小速度分别增加到0.37%和0.32%。

(3)计算分析六盘水市的综合土地利用动态度。在1990—2000年,六盘水市域土地利用综合动态度为0.497,反映该时段内土地利用变化速度较为缓慢,表明人类对自然环境的影响较小;而随着时间的变化,2000—2010年期间,土地利用的综合动态度为8.25,说明人类开发利用自然环境的速率加大,对土地利用的影响程度迅速增大。

2.2 驱动因子对土地类型分布的影响

利用SPSS18.0软件,对各土地利用类型和影响因素进行Logistic回归分析,获取不同土地利用类型及其影响因素的权重大小,回归结果见表3。

表3中 β 是回归方程中各类影响因素的解释系

表3 2000年六盘水市域土地利用类型 Logistic 回归结果

Tab.3 Results of Logistic regression for various land use types of Liupanshui in 2000

影响因素	耕地		林地		草地		水域		建设用地	
	β	Exp(β)								
岩性	-0.039	0.962	0.007	1.007					0.227	1.254
坡度	-0.013	0.987			-0.007	0.993				
土壤类型					-0.013	0.987				
DEM	-0.001	0.999	0.002	1.002	-0.001	0.999				
植被类型					0.006	1.006				
GDP	-0.306	0.736							0.659	1.932
POP	0.001	1.001	-0.002	0.998	-0.004	0.997			0.000	1.000
石漠化等级	-0.103	0.902	-0.047	0.955	0.108	1.115				
年均温	-0.059	0.943	0.041	1.042						
与道路距离	-0.036	0.965			0.033	1.034			-0.713	0.490
年降雨量			0.455	1.577	-0.374	0.688			1.069	2.911
与水系距离							0.188	1.207		
与铁路距离			-0.006	0.994					-0.140	0.869
坡向	-0.001	0.999			0.001	1.001				
常数	2.058	7.829	-9.139	0.000	6.477	650.155	-9.514	0.000	-18.706	0.000

数, $\text{Exp}(\beta)$ 为土地利用类型发生的胜率, 是以 e 为底数的自然幂指数, 其值表示事件发生概率与不发生概率之比, 数学意义是解释相关变量每增加或者减少一个单位, 土地利用类型出现或者不出现的概率变化情况, 是评价影响因素 (自变量) 对土地利用类型 (因变量) 影响程度的重要指标^[28], 且 $\text{Exp}(\beta)$ 与 1 之间差值的正负表示相关变量每增加一个单位, 该类型土地利用出现的概率大于或者小于不出现的概率。从表 3 可以看出, 对耕地表现敏感的影响因素主要包括岩性、坡度、坡向、DEM、GDP、POP、石漠化等级、温度和与道路的距离; 对林地表现最为敏感的影响因素主要包括岩性、DEM、降水和温度, 其中, 降水影响程度最大, $\text{Exp}(\beta)$ 为 1.5756, 说明降水越多的越有利于林地分布, 相反, 有石漠化的地方林地的分布概率较小; 对草地表现最敏感的影响因素是石漠化等级; 与河流的距离是唯一的水域的影响因素; 在建设用地的影响因素中, 岩性、GDP、POP 和降水的影响程度较大。

对于各地类和影响因素的 Logistic 回归方法的拟合度可利用 ROC 曲线检验, ROC 曲线的横坐标

1-特异性表示把实际为假值的判断为真值的概率, 纵坐标敏感性表示把实际为真值的判断为真值的概率, 在 ROC 曲线完成后会自动计算显示曲线下方的面积, 以反映土地利用类型的概率分布与真实地类分布之间的一致性, 面积值越接近于 1, 表明回归方程的拟合度越高, 对土地利用空间布局的解释意义越好。图 1 是对各地类 Logistic 回归进行 ROC 检验的结果, 其中, 建设用地的拟合度最高, 达 0.975, 其他地类的 ROC 值均在 0.7 以上, 说明所确定的驱动因素对各地类影响的概率分布具有较好的解释能力。

2.3 DLS 模拟验证

以六盘水市 2000 年的土地利用数据为基础, 2010 年的土地利用现状数据为需求, 在 DLS 模型中设置转换类型编码和转移弹性系数, 模拟该区域 2010 年的土地利用空间分布变化, 模拟结果与实际结果对比见图 2、图 3。

将 2010 年的土地利用分布图与模拟结果图做空间叠加分析, 采用 Kappa 系数进行 DLS 模型的模拟精度评价, 其公式如下^[29]:

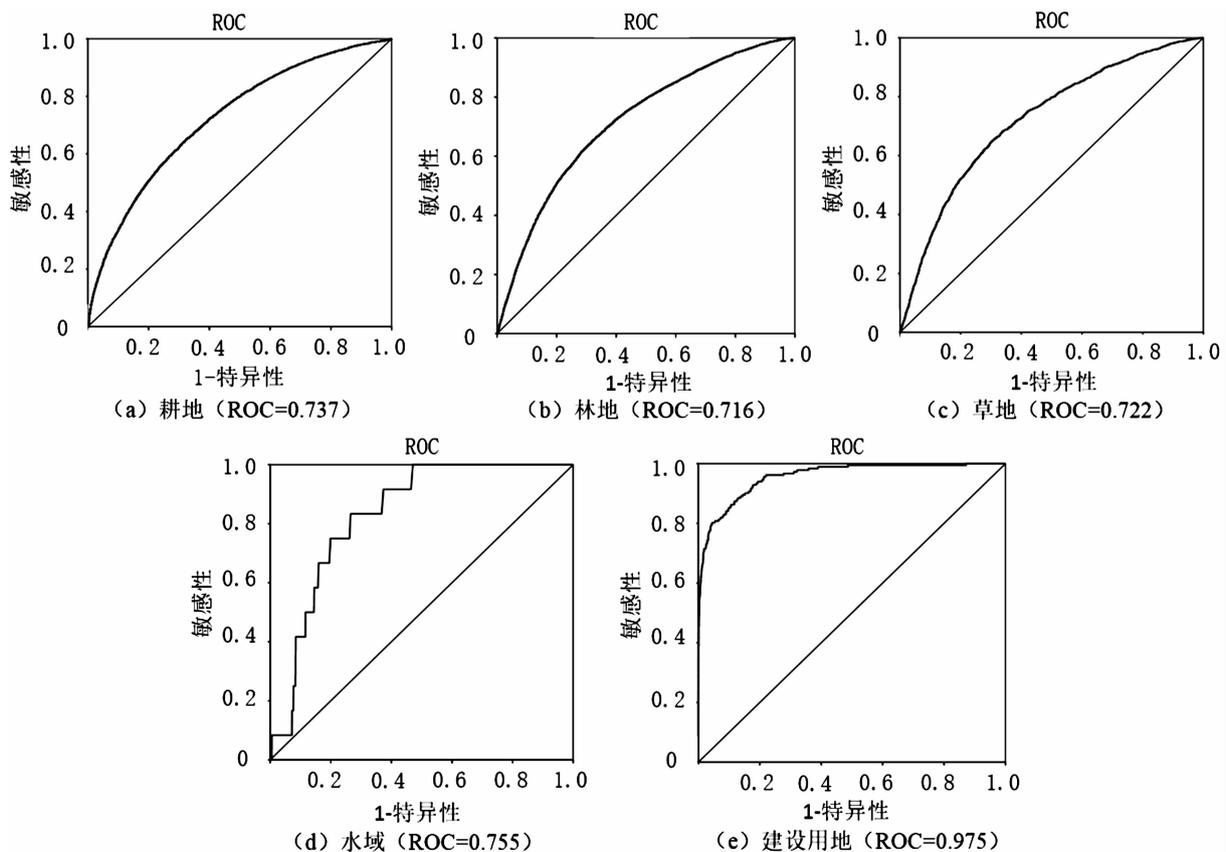


图 1 不同土地利用类型模拟的 ROC 曲线

Fig. 1 ROC curve simulated by different land use types

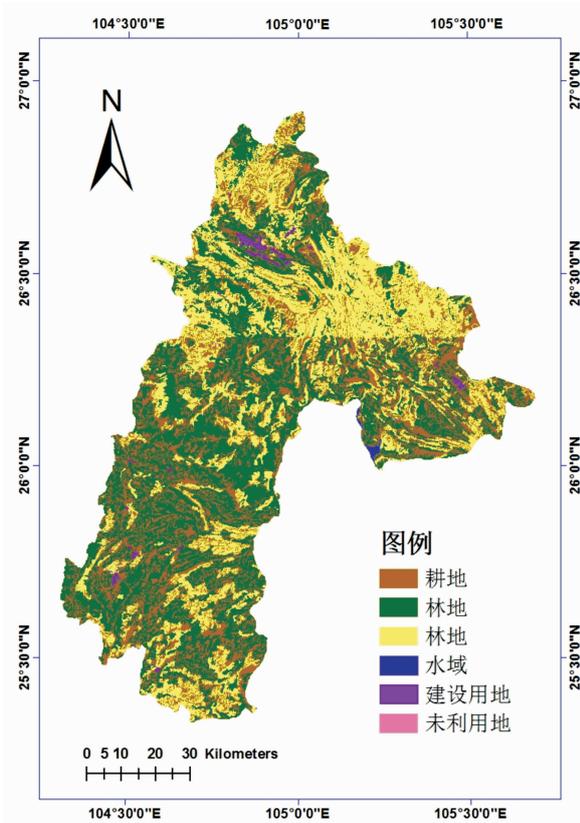


图 2 六盘水市 2010 年土地利用图
Fig. 2 Actual land use of Liupanshui in 2010

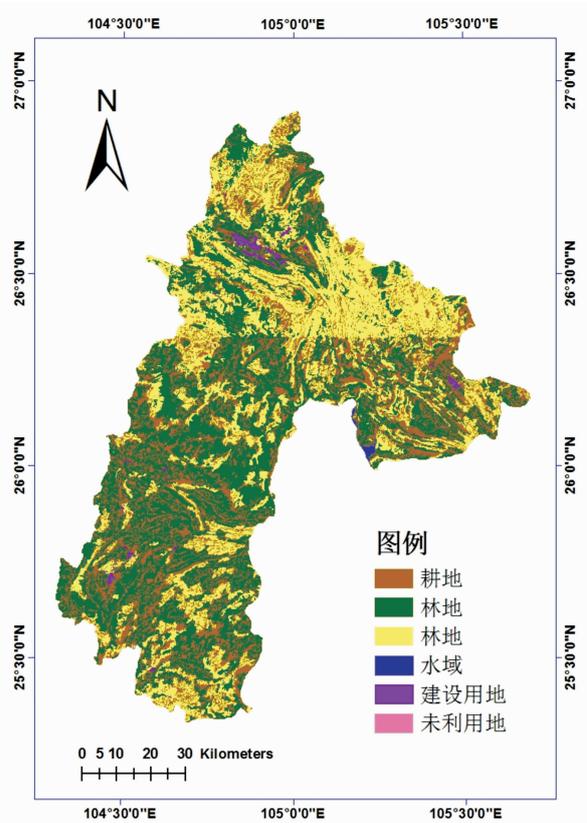


图 3 六盘水市 2010 年土地利用模拟图
Fig. 3 Simulated land use of Liupanshui in 2010

$$Kappa = \frac{P_a - P_c}{P_p - P_c} \quad (7)$$

其中, P_a 表示能正确模拟变化的栅格比例; P_c 表示在随机状态下可能模拟得到的正确栅格比例; P_p 表示在最理想的状态下模拟的正确的栅格比例。

将 2010 年的模拟结果图与实际的土地利用图进行空间叠加对比分析, 得到模拟结果的空间正确率为 $P_o = 0.974$, 计算 $Kappa = 0.961$, 表明 2010 年的模拟图与实际图的空间分布一致性较高, 验证了 DLS 模型在喀斯特山地六盘水市域的适用性。

2.4 Markov 需求预测

利用 Markov 模型从土地利用的初始阶段起, 按照稳定的转移速率进行未来预测具有较好的模拟效果^[30]。将 2000 年和 2010 年 2 期土地利用类型图进行空间叠加分析, 得出 2000 年 i 类土地转化为 2010 年 j 类土地的转移面积矩阵, 再利用土地利用类型转移面积矩阵建立 Markov 转移概率矩阵 (表 4):

基于 2000—2010 年六盘水区域土地利用变化趋势和上述 Markov 转移概率矩阵, 结合政府有关政策和规划, 设定自然增长、土地优化、经济发展和生

表 4 2000—2010 年研究区土地利用转移概率矩阵
Tab. 4 Land use transition probability matrix of the study area from 2000 to 2010

		2010 年				
		耕地	林地	草地	水域	建设用地
2000 年	耕地	0.956	0.021	0.002	0.005	0.016
	林地	0.002	0.992	0.001	0.001	0.004
	草地	0.004	0.024	0.965	0.001	0.007
	水域	0.000	0.000	0.001	0.999	0.000
	建设用地	0.008	0.000	0.000	0.013	0.979

态保护四种不同的情景, 计算 2030 年研究区的土地利用转移概率矩阵, 从而确定 2030 年不同情景驱动下的各类土地的需求量。

3 未来土地利用情景模拟

3.1 土地利用情景分析

自然增长情景: 延续 2000—2010 年土地利用变化发展的自然状态, 结合该时段内的土地利用转移概率矩阵和 Markov 模型, 计算分析未来 2030 年六盘水市的土地利用转移概率矩阵 (表 5) 和土地利用

需求数据。

表 5 六盘水 2030 年的土地利用转移概率矩阵

Tab. 5 Land use transition probability matrix of Liupanshui in 2030

	耕地	林地	草地	水域	建设用地
耕地	0.875	0.0596	0.005	0.01	0.045
林地	0.004	0.977	0.00298	0.003	0.003
草地	0.011	0.0696	0.898	0.022	0.019
水域	0	0	0	0.905	0
建设用地	0	0	0	0.001	0.981

土地优化情景:在自然增长的基础上加强耕地的保护,根据基本农田保护政策对转移概率进行调整,减少耕地的转出和增加耕地的转入,主要表现在耕地转出为林地和建设用地的概率分别减小为 0.0428 和 0.025,林地转为耕地的概率增大为 0.014,其他各类型之间的转换概率变化较小。

经济发展情景:主要考虑因经济发展导致的建设用地的大量增加,改变转移概率矩阵以合理的调整各类土地利用的需求量,增大建设用地的转入主要来源于林地和草地的转入概率分别增大为 0.0137 和 0.028。

生态保护情景:响应国家生态保护的相关政策,严格保护水域和林地,合理的控制林地、耕地和建设用地之间的相互转化,保证林地面积的增大主要来源于林地和草地面积的减少,合理的减小建设用地的增加概率,其中,耕地和草地转入建设用地概率分别减小为 0.041 和 0.011。

基于以上四种情景的设定,利用 Markov 模型预测六盘水市 2030 年不同情景驱动下各地类的需求面积(表 6),并通过多项式线性内插法预测得到 2000—2030 年不同土地利用类型的面积,以此作为土地需求参数输入 DLS 模型,设置调试模型的土地利用类型编码和转换弹性系数分别为耕地(1;0.6)、林地(2;0.8)、草地(3;0.7)、水域(4;0.1)、建设用地(5;0.0),模拟未来 20 年的土地利用变化

表 6 六盘水 2030 年不同情景土地利用需求量(单位:km²)

Tab. 6 Land use demand at different scenarios of Liupanshui in 2030 (Unit: km²)

	耕地	林地	草地	水域	建设用地
自然增长	2562.85	4245.58	2632.70	107.40	240.65
土地优化	2686.66	4157.43	2608.60	78.86	257.63
经济发展	2592.10	4169.76	2638.79	79.36	309.17
生态保护	2649.99	4173.47	2632.82	95.27	237.63

情况。

3.2 未来土地利用空间模拟

结合 DLS 和 Markov 模型,以 2000 年为预测基准年,利用土地利用变化特征和 logistic 回归设置合理的参数,实现 2030 年六盘水市 4 种不同情景驱动下土地利用空间布局的模拟预测,结果见图 4。

在自然增长情景下,2030 年六盘水市的土地利用变化将延续现有的自然发展变化趋势,林地和建设用地面积持续增加,草地面积迅速减少,其中,林地增加了 286.58 km²,其中有 53.80% 来源于草地面积的减小;建设用地面积增加至 240.65 km²,主要归因于耕地面积的减少。

在土地优化情景下,耕地面积较自然增长状态有所增加,与 2000 年相比,耕地面积减少了 231.34 km²,其中,63.10% 主要转化为林地;建设用地面积扩大为 257.63 km²,主要表现为耕地和草地面积的减少;而草地面积减少了 281.40 km²,多转化为林地和耕地。

在经济发展情景下,到 2030 年,建设用地的扩张 267.17 km²,扩张面积主要来源于耕地(51.90%)、林地(15.80%)和草地(32.30%);林地的扩张面积主要来源于耕地(39.10%)和草地(60.90%);耕地面积较 2000 年减小了 325.90 km²,草地面积减小了 251.21 km²。

在生态保护情景下,2030 年六盘水市林地和耕地面积反向变化,其中林地扩张迅速,耕地减小幅度较大,且耕地面积的减小主要表现为建设用地和林地面积的大幅度增加,其中,转入林地的耕地面积为 85.56 km²,占转化总面积的 46.96%;转入建设用地的耕地面积为 126.90 km²,占耕地减少面积的 53.04%。

对比分析不同情景下的土地利用变化:随着人类活动强度的增加,对土地的开发利用程度也逐渐增大,导致六盘水市未来的土地利用变化显著。其中,经济的快速发展、人口的剧烈增加和城镇化进程的加快是致使建设用地呈迅速增长状态的主要原因;而随着国家基本农田保护政策的大力实施,耕地面积减小的变化趋势逐渐减弱,保证了基本耕地的面积数量稳定;林地面积总体上呈现增加趋势,主要归因于国家推行退耕还林工程和保护生态环境等政策的影响;草地面积呈现逐渐减少趋势,且减少幅度也逐渐降低;而水域面积的增加和减小受自然环境的影响程度较大。

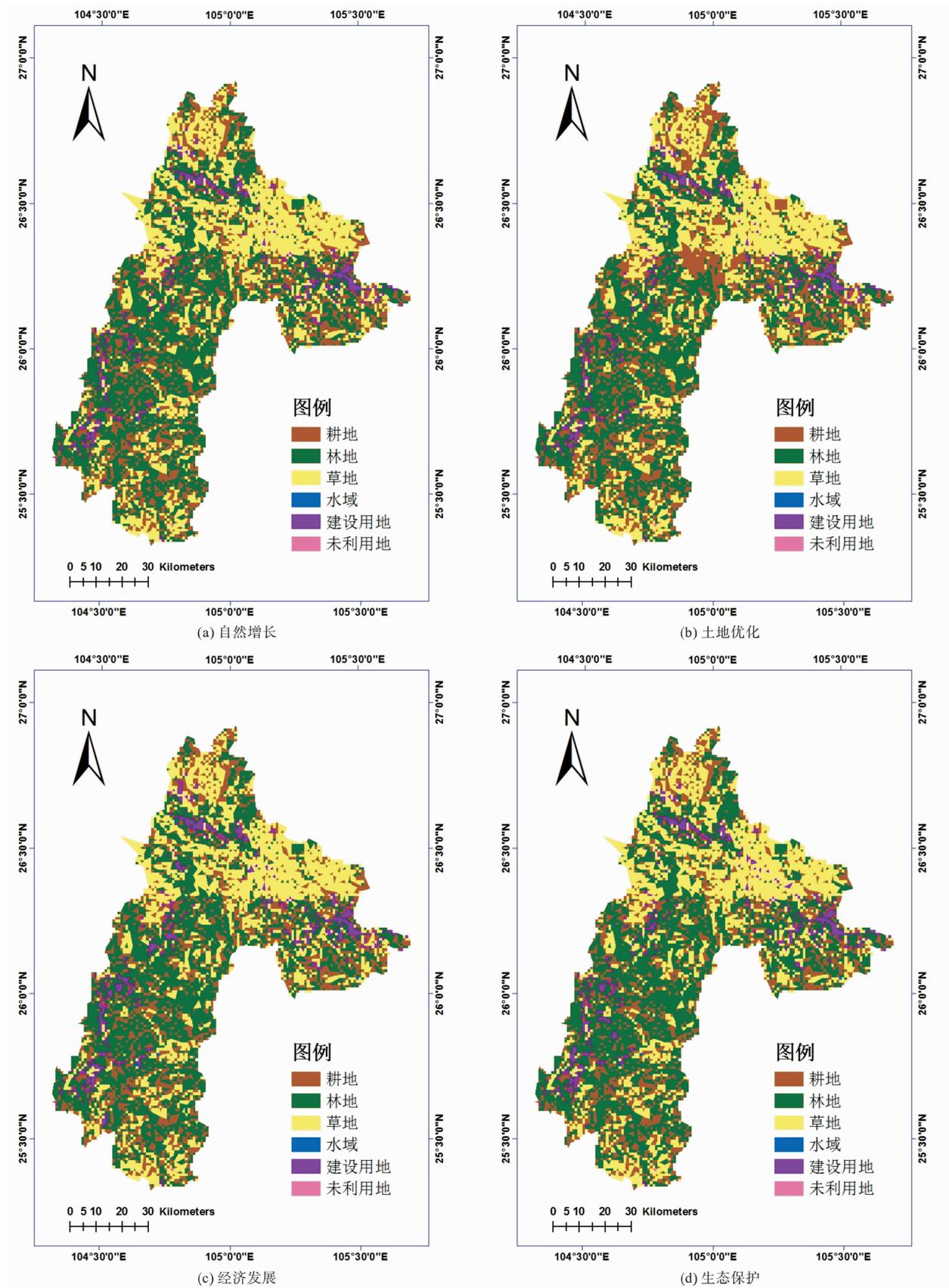


图 4 2030 年六盘水区域不同情景下土地利用空间分布

Fig. 4 Land use pattern under different scenarios of Liupanshui region in 2030

(a) Natural growth; (b) Optimize land use situation; (c) Economic development; (d) Ecological protection

4 结论

本文以典型的喀斯特区域—六盘水市为例,借助 ARCGIS 和 SPSS18.0 软件分析了该区域土地利用的动态变化特征和各驱动因素对土地利用变化的影响作用,结合 Markov 和 DLS 模型,设定自然增长、土地优化、经济发展和生态保护四种不同情景,模拟研究区 2030 年的土地利用空间分布,得出如下结论:

(1) 与 1990—2000 年相比,2000—2010 年人类对土地资源的开发利用强度和速率明显增大,对土地利用类型变化的影响程度也逐渐明显,主要表现在林地、建设用地和水域面积的大幅度增加和耕地面积的明显减少。

(2) 基于 4 种情景的土地利用变化模拟发现:喀斯特区域土地利用变化主要表现为林地和建设用地面积不同幅度的增加,主要来源于耕地和草地面积的迅速减小,而这也是未来土地利用变化的趋势。为了更合理的开发利用土地资源,处理好喀斯特生态脆弱区经济发展与土地退化甚至石漠化之间的矛盾,应严格统筹安排各类用地,适度开发,对可能造成土地石漠化的地区禁止开发;严格实施耕地保护政策,加强土地利用的规划和管理力度,增加耕地的可利用面积,严格控制建设用地占用耕地的比例;加强贵州长江流域天然林资源保护工程、长江中上游防护林工程和珠江上游防护林工程的实施,保护、恢复和扩大林草植被覆盖区域;以石漠化地区的生态重建为重点,恢复和改善生态环境。

(3) Logistic 回归的 ROC 值均大于 0.7,模型 Kappa 值达 96.10%,说明拟合度较高,具有很好的模拟效果。从而为该区域后期土地资源的分配和区域的发展规划提供了一定的参考。

参考文献 (References)

- [1] 许月卿,李季彬. 基于 GIS 的河北南部平原土地利用变化动态分析[J]. 资源科学, 2003, **25**(02): 77 - 84 [XU Yueqing, LI Xiubin. Dynamic change of land use in He Bei southern plain based on GIS[J]. Journal of resources science, 2003, **25**(02): 77 - 84]
- [2] 黄明,张学霞,张建军,等. 基于 CLUE-S 模型的罗玉河流域多尺度土地利用变化模拟[J]. 资源科学, 2012, **34**(04): 769 - 776 [HUANG Ming, ZHANG Xuexia, ZHANG Jianjun, et al. The simulation of multi-scale land use change based on the CLUE-S model in valley Yu Luo[J]. Journal of resources science, 2012, **34**(4): 769 - 776]
- [3] 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 [HE Dan, ZHOU Jing, GAO Wei, et al. Research on land use change dynamic simulation of Dianchi lake watershed based on the CA-Markov model[J]. Journal of Beijing university: natural science edition, 2014, **50**(6): 1095 - 1105]
- [4] 尹昌应,石忆邵. 规划情景约束下的城市土地利用空间格局模拟[J]. 地理与地理信息科学, 2014, **30**(02): 66 - 71 [YIN Changying, SHI Yishao. Urban land use spatial pattern simulation under the restriction of planning situation[J]. Journal of geography and geographic information science, 2014, **30**(02): 66 - 71]
- [5] 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(6): 553 - 558 [LI Xiubin. A review of the international researches on land use cover change[J]. Acta geographic sinica, 1996(6): 553 - 558]
- [6] 熊康宁,白利妮,彭贤伟,李阳兵. 不同尺度喀斯特地区土地利用变化研究[J]. 中国岩溶, 2005(3): 41 - 47 [XIONG Kangning, BAI Lini, PENG Xianwei, LI Yangbing. Research on changes of land use in different scale in karst mountain [J]. Chinese population: Resource and environment[J]. Carsologica Sinica, 2005(3): 41 - 47]
- [7] 张惠远,赵昕奕,蔡运龙,等. 喀斯特山区土地利用变化的人类驱动机制研究——以贵州省为例[J]. 地理研究, 1999, **18**(2): 136 - 142 [ZHANG Huiyuan, ZHAO Xinyi, CAI Yunlong et al. The driving mechanism of human forces to the land-use change in the karst mountain area—the case study of Guizhou province[J]. Journal of geography, 1999, **18**(2): 136 - 142]
- [8] 李漫,吴良林,周世武,等. 喀斯特山区土地利用变化及其社会驱动力分析——以河池市为例[J]. 安徽农业科学, 2010, **38**(16): 8582 - 8585 [LI Man, WU Lianglin, ZHOU Shiwu, et al. Study on land use change and driving force of society in Karst mountainous region. The agricultural sciences of Anhui, 2010, **38**(16): 8582 - 8585]
- [9] 彭建,蔡运龙, Verburg P H. 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**(07): 64 - 70 [PENG Jian, CAI Yunlong, Verburg P H. Scene simulation of land use/cover change in Karst mountain area [J]. Journal of agricultural engineering, 2007, **23**(7): 64 - 70]
- [10] 张跃红,安裕伦,马良瑞,等. 1960 - 2010 年贵州省喀斯特山区陡坡土地利用变化[J]. 地理科学进展. 2012, **31**(7): 878 - 884 [ZHANG Yuehong, AN Yulun, MA Liangrui, et al. Land use change of slope land in Karst mountainous region Guizhou province during 1960 - 2010 [J]. Geographic information science, 2012, **31**(7): 878 - 884]
- [11] 许月卿,罗鼎,冯艳,彭建. 西南喀斯特山区土地利用/覆被变化研究——以贵州省猫跳河流域为例[J]. 资源科学, 2010, **32**(9): 1752 - 176 [XU Yueqing, LUO Ding, FENG Yan, PENG Jian. A study on land use and land cover change in Karst mountainous areas in southwestern China: a case study of the Maotiao river watershed, Guizhou Province [J]. Journal of Beijing forestry university, 2010, **32**(9): 1752 - 1760]
- [12] 袁春,周常萍,童立强,等. 贵州土地石漠化的形成原因及其治理对策[J]. 现代地质, 2003, **17**(02): 181 - 185 [YUAN Chun, ZHOU Changping, DONG Liqiang, et al. The reasons for the

- formation of land desertification in Guizhou and its countermeasures [J]. *Modern geology*, 2003, **17**(02):181-185]
- [13] 龙敏飞. 治理土地石漠化必须多管齐下[N]. 中国商报. 2011, 09, **20**(002) [LONG Minfei. Land desertification governance must be multi-pronged [N], *China business*. 2011, 09, **20**(002)]
- [14] 宋开山, 刘殿伟, 王宗明, 等. 1954年以来三江平原土地利用变化及驱动力[J]. 地理学报, 2008, **63**(01):93-104 [SONG Kaishan, LIU Dianwei, WANG Zongming, et al. Sanjiang plain land use change and driving force since 1954, [J]. *Journal of geography*, 2008, **63**(01):93-104]
- [15] 蔺小虎, 姚顽强, 邱春霞. 黄土丘陵沟壑区退耕驱动下土地利用变化——以陕西省安塞县纸坊沟流域为例[J]. 山地学报, 2015 (06):759-769 [LIN Xiaohu, YAO Wanqiang, QIU Chunxia. Land use change driven by farmland in loess hilly-gully region—A case study of Zhifanggou gully basin [J]. *Mountain research*, 2015 (6):759-769]
- [16] 朱会义, 李秀彬, 何书金, 等. 环渤海地区土地利用的时空变化分析[J]. 地理学报, 2001, **56**(03):253-260 [ZHU Huiyi, LI Xiubin, HE Shujin, et al. Analysis of spatial and temporal variations of land use in the circum Bohai sea region [J]. *Journal of geography*, 2001, **56**(03):253-260]
- [17] 刘纪远, 刘明亮, 庄大方, 等. 中国近期土地利用变化的空间格局分析[J]. 中国科学:2002, **32**(12):1031-1040 [LIU Jiyuan, LIU Mingliang, ZHANG Dafang, et al. Analysis of the spatial pattern of land use change in China's recent [J]. *Chinese science*, 2002, **32**(12):1031-1040]
- [18] 邵霞珍. 土地利用变化的社会经济驱动因子研究——以贵阳市和大连市为案例比较 [D]. 杭州: 浙江大学, 2006 [SHAO Xiaozhen. Research on social economic driving factors of land use change—take Guiyang and Dalian city as a case [D]. Hangzhou: Zhejiang university, 2006]
- [19] 张晓玲, 关欣, 吴宇哲, 等. 基于系统动力学的县域土地利用变化模型——以浙江省缙云县为例[J]. 安徽农业科学, 2007, **35**(34):11154-11156 [ZHANG Xiaoling, GUAN Xin, WU Yuzhe, et al. Change model of land use at county level based on system dynamics—take Jinyun county, Zhejiang province for example [J]. *Journal of Anhui agricultural science*, 2007, **35**(34):11154-11156]
- [20] 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**(02):294-304 [XIE Hualin, LIBO. Driving forces analysis of land-use pattern changes based on logistic regression model in the farming-pastoral zone: A case study of Ongiud Banner, Inner Mongolia [J]. *Journal of geographical research*, 2008, **27**(02):294-304]
- [21] 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**(1-3):239-248
- [22] 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**(02):206-212 [BAI Wanqi, ZHANG Yongmin, YAN Jianzhong, et al. The land use dynamic simulation analysis in Da du river upstream region [J]. *Journal of geographical research*, 2005, **24**(02):206-212]
- [23] VERBURG P H, SOEPBOER W, VELDKAMP A, et al. Modeling the spatial dynamics of regional land use: the CLUE-S model [J]. *Environmental management*, 2002, **30**(3):391-405
- [24] 牛星, 欧名豪. 基于 MARKOV 理论的扬州市土地利用结构预测 [J]. 经济地理, 2007, **27**(01):153-156 [NIU Xing, OU Minghao. Prediction of land use structure in Yangzhou city based on the theory of MARKOV [J]. *Journal of economic geography*, 2007, **27**(01):153-156]
- [25] 邓祥征, 林英志, 黄河清. 土地系统动态模拟方法研究进展 [J]. 生态学杂志, 2009, **28**(10):2123-2129 [DENG Xiangzheng, LIN Yingzhi, HUANG Heqing. The research progress of land system dynamic simulation method [J]. *Journal of ecology*, 2009, **28**(10):2123-2129]
- [26] 邓祥征. 土地系统动态模拟 [M]. 中国大地出版社, 2008:156-158 [DENG Xiangzheng. Land system dynamic simulation [M]. China press, 2008:156-158]
- [27] 刘耀林, 刘艳芳, 张玉梅. 基于灰色-马尔柯夫链预测模型的耕地需求量预测研究 [J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2004, **29**(7):575-579 [LIU Yaolin, LIU Yanfang, ZHANG Yumei. Prediction of gross arable land based on Grey-Markov model [J]. *Editorial board of geomatics and information science of Wuhan University*, 2004, **29**(7):575-579]
- [28] 高志强, 易维. 基于 CLUE-S 和 Dinamica EGO 模型的土地利用变化及驱动力分析 [J]. 农业工程学报, 2012, **28**(16):208-216 [GAO Zhiqiang, YI Wei. Land use change and driving force analysis based on the CLUE-S and Dinamica EGO model [J]. *Journal of agricultural engineering*, 2012, **28**(16):208-216]
- [29] 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 [J]. 地理学报, 2004, **59**(06):1037-1047 [DUAN Zengqiang, VERBURG PH, ZHANG Fengrong, et al. The construction of dynamic simulation model of land use and its application—take Haidian district for example [J]. *Journal of geographical*, 2004, **59**(6):1037-1047]
- [30] 李涛, 王学雷, 蔡述明, 等. 宜昌市土地利用动态变化的 Markov 模型研究 [J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2009, **33**(06):1207-1210 [LI Tao, WANG Xuelei, CAI Shuming, et al. Study of land use dynamic change in Yichang based on Markov model [J]. *Journal of Wuhan university of technology (transportation science and engineering edition)*, 2009, **33**(6):1207-1210]

Land Use Dynamic Simulation on Typical Karst Region: A Case Study of Liupanshui

XUE Bei^{1,2}, ZHANG Hongqi^{2*}, LIU Changxing¹, XU Erqi², LIN Xiaohu¹

(1. College of Geomatics, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China;

2. Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographical Sciences
and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: With the rapid development of economy and the influence of rocky desertification, the land use has changed significantly in Karst area. In order to explore the dynamic changes and spatial distribution of land use in the Karst region in the future, this paper took Karst area of Liupanshui city in Guizhou Province for example, where the land degradation and rocky desertification is seriously. The ARCGIS and SPSS18.0 were used to analyze the regional land use change characteristics and the difference of driving factors, then combined Markov model and DLS model, simulated the spatial distribution of land use from natural growth, land optimization, economic development and ecological protection of the study area in 2030 based on land use data in 1990, 2000 and 2010. It is concluded that: (1) the intensity and rate of the human exploitation and utilization of land resources had increased markedly, and the degree of influence on land use changes had also increased rapidly since 2000, mainly in the substantial increase of woodland, construction land, water area and the reduction of cultivated land area; (2) Markov model was used to predict the land use demand under different scenarios, then land use demand data was put into DLS model to get the change of land use spatial pattern from 2000 to 2010. The result showed that forest and construction land increased in different extent, which were mainly from the reduction of arable and grassland area. It would be the trend of land use change of the region in the future; (3) the area value of ROC curves verified by logistic regression accuracy, which were all more than 0.7, and the Kappa value was up to 96.1%. It indicated that the model had good applicability for the study area, and could provide some references for the rational distribution of land resources and better development planning in the later period of the region.

Key word: land use; logistic regression; Markov model; DLS model; karst