

文章编号: 1008 - 2786 - (2015) 5 - 619 - 10

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000077

近 40 年来贵州高原典型区土地利用变化 及驱动机制

秦罗义^{1,3}, 白晓永^{1,2}, 王世杰^{1,2*}, 周德全³, 陈伟燕^{1,4}, 罗光杰^{1,4}, 张斯屿^{1,4}, 崔泽银³

(1. 中国科学院地球化学研究所 环境地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002;

2. 中国科学院普定喀斯特生态系统观测研究站, 贵州 普定 562100;

3. 贵州师范大学 地理与环境科学学院, 贵州 贵阳 550001; 4. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要: 为了揭示喀斯特地区的土地利用变化过程及其驱动机制, 以贵州高原普定县为研究对象, 在 GIS 和 RS 技术支持下, 结合景观指数分析方法, 利用 1973 年 MSS, 1990 年、2002 年和 2009 年 TM 4 期遥感影像, 对土地利用变化的幅度、速度、区域差异和景观格局进行了定量分析。结果表明: 1. 土地利用结构变化主要为耕地和林草地间的相互转化, 主要表现为 1990 年之前, 后者向前者转移, 转移比例为 28.83%; 1990 年之后, 前者向后者转移, 转移比例为 16.30%。2. 水域和难利用地面积先增加后减少, 研究时段内比例分别增加了 0.81% 和 1.14%, 建设用地一直呈增加趋势, 增加了 2.98%。3. 景观的破碎度和优势度先增加后减少, 但多样性和均匀度先减少后增加。结合驱动力分析表明, 研究期内整体可分为 3 个明显时段, 分别为“1990 年之前”、“1990—2002 年”和“2002 年之后”, 在遥感影像和土地利用图上呈现出生态“恶化”-“好转”-“并存”的特点, 同与之相伴的“生态破坏”-“生态治理”-“开发与破坏并存”的人类驱动呈显著相关性。

关键词: 土地利用/覆被变化; 景观格局; 驱动机制; 贵州高原; 普定县

中图分类号: F301

文献标志码: A

土地是人类赖以生存和发展的最基本的自然资源和物质基础^[1]。土地利用/覆被变化(land use/cover change, LUCC)是全球环境变化的重要组成部分和主要原因之一^[2-4]。LUCC 牵涉到大量其他陆地表层物质循环与生命过程^[5], 如生物圈-大气交互作用、生物多样性、生物地球化学循环以及资源的可持续利用等方面^[6]。自 20 世纪 90 年代以来, LUCC 研究已成为全球环境变化研究的重点领域和研究热点^[7-8]。考虑到不同地区的 LUCC 对全球变

化的贡献和响应不同, 区域尺度的 LUCC 研究集中在“热点地区”、“脆弱地区”和“关键地区”^[9]。中国西南喀斯特分布区是典型的生态脆弱区, 同时又是全球气候变化研究的热点和关键地区, 是典型的“三合一”地区。

国内对土地利用/覆盖变化研究比较多, 也取得了很多研究成果。摆万奇、赵士洞(1997)综述了 LUCC 的主要模型, 并归纳出 LUCC 模型的主要发展趋势^[10]; 傅伯杰(1999)应用地理信息系统和野外

收稿日期(Received date): 2013-09-11; 修回日期(Accepted): 2013-12-01。

基金项目(Foundation item): 国家 973 项目(2013CB956704), 中国科学院战略性先导科技专项重大课题(XDA05070400), 贵州省科技计划(黔科合重大专项字(2012)6015号), 国家自然科学基金项目(41001162)。[Supported by National Key Basic Research Program of China (Grant Nos. 2013CB956704), the Strategic Priority Research Program - Climate Change: Carbon Budget and Related Issues of the Chinese Academy of Sciences (Grant No. XDA05070400), Major special plan of science and technology and Social Development Scientific Research Programs of Guizhou (Grant No 2012-6015), and National Natural Science Foundation of China (Grant No. 41001162).]

作者简介(Biography): 秦罗义(1989-), 男(汉族), 湖北襄阳人, 在读硕士研究生, 主要研究方向为环境遥感。[Qin Luoyi(1989-), male, master student, mainly engaged in the environmental remote sensing.]E-mail: 445844112@qq.com

* 通信作者(Corresponding author): 王世杰, E-mail: wangshijie@vip.skleg.cn

采样分析了黄土丘陵沟壑区的土地利用变化对流域土壤侵蚀、土壤养分和土壤水分的影响^[11];史培军(2000)利用遥感影像,结合最大似然法和概率松弛法对深圳市土地利用进行了测量,分析了深圳市15年来土地利用变化的空间过程^[12];张惠远(1990, 2000)运用遥感影像对喀斯特山区土地利用变化的驱动机制做了分析和研究^[13-14];刘纪远(2002)运用陆地卫星数据资料,研究了1990年代末以来土地利用变化的特征和空间分布规律^[6];陈玉福(2006)运用GIS技术对内蒙古高原浑善达克沙地区土地利用与覆被变化及退化趋势进行了研究^[15];彭建(2007)运用“3S”集成技术定量研究了贵州猫跳河流域过去30 a间的土地利用/覆被的变化特征等^[16]。此外,一些学者对喀斯特地区石漠化问题的形成和发育进行了研究,提出了一些治理措施和意见^[17-20]。但土地利用及景观格局变化研究主要集中于非喀斯特地区,对于喀斯特地区土地利用变化研究主要为土地利用变化规律的研究,对典型喀斯特生态脆弱区的自然、社会因素的综合驱动力分析还较少。本文通过分析近40年来研究区的土地利用变化及景观格局演变,结合研究区建国以来的人口变化、粮食产量、经济总量及产业结构等数据,进一步分析了研究区LUCC及景观格局演变与社会驱动力之间的联系,以期掌握喀斯特地区生态环境变化、人类干扰与土地利用变迁之间的耦合关系,为西南喀斯特地区的土地资源可持续利用和脆弱生态系统的修复提供科学的依据,支持区域生态、人口、经济等可持续发展^[21]。

1 研究区概况

普定县位于贵州省中部,国土面积1 091 km²,属北亚热带季风湿润气候,气候温和,雨量充沛,年均温15.1℃,年均降水量1 396.9 mm。全县喀斯特地貌广泛发育,碳酸盐岩出露面积863.7 km²,占全县国土面积的79.2%。水域主要为乌江水系和夜郎湖。位于长江和珠江水系的结合地带,是长防和珠防工程的重点县,也是国家退耕还林的先进县和示范县。最近20年来,进行了一系列的城市和工矿道路建设,社会经济发展迅速,正逐渐成为黔中高原新的经济增长点。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

普定县土地利用及景观格局数据源的时间为1973—2009年,分4个时期,各期数据来源于马里兰大学和中国科学院对地观测中心网站:1973年Landsat MSS影像,分辨率60 m;1990年、2002年、2009年Landsat TM影像,分辨率均为30 m。为保证数据精度,影像所处季节一致,数据处理包括辐射校正和几何精校正:辐射校正是在Erdas 9.2环境下对4期影像分别进行光谱增强、辐射增强;几何精校正是将1:5万地形图扫描输入计算机,进行投影处理,以1:5万地形图作为主控数据源对4期遥感影像进行校正,平均位置误差控制在一个象元以内。所有数据均采用近红外、红光与绿光波段进行标准假彩色合成,并结合普定县土地利用现状图及Google Earth高分辨率影像,在人机交互方式下进行目视解译,建立土地利用空间数据库和属性数据库,得到1973年、1990年、2002年、2009年4期土地利用矢量图。

研究区喀斯特广泛发育,土地利用景观斑块破碎、分散,为准确了解研究区各土地利用类型及景观格局的发展演化,在借鉴国内外土地利用类型分类研究成果的基础上,根据研究区土地利用景观特点以及全国区域委员会1985年公布的土地利用分类标准,将研究区分为有林地、灌木林地、其他林地、草地、水田、旱地、水域、建设用地、难利用地等9种土地利用类型。

对得到的土地利用矢量图9种土地利用类型随机选取大量的野外验证点,并结合历年土地利用资料进行验证。经统计,各期土地利用矢量图精度分别为83.12%、88.53%、86.74%、87.54%,能够满足区域土地利用/覆盖变化及景观格局分析的需要。

2.2 研究方法

2.2.1 土地利用时间变化研究方法

不同土地利用类型,受自然和人为因素的干扰不同,其变化速率也不相同。而土地利用变化速率的区域差异可以用土地利用动态度模型来加以表述^[6],公式如下

$$S = \left\{ \sum_{j=1}^n (\Delta s_{i-j} / s_i) \right\} \times (1/t) \times 100\% \quad (1)$$

式中 S_i 为监测开始时间第 i 类土地利用类型总面积, ΔS_{i-j} 为由监测开始至监测结束时段内第 i 类土地利用类型转换为其他类土地利用类型面积的总和, t 为监测时间段, S 为与 t 时段对应的研究样区土地利用变化速率。

2.2.2 土地利用空间变化研究方法

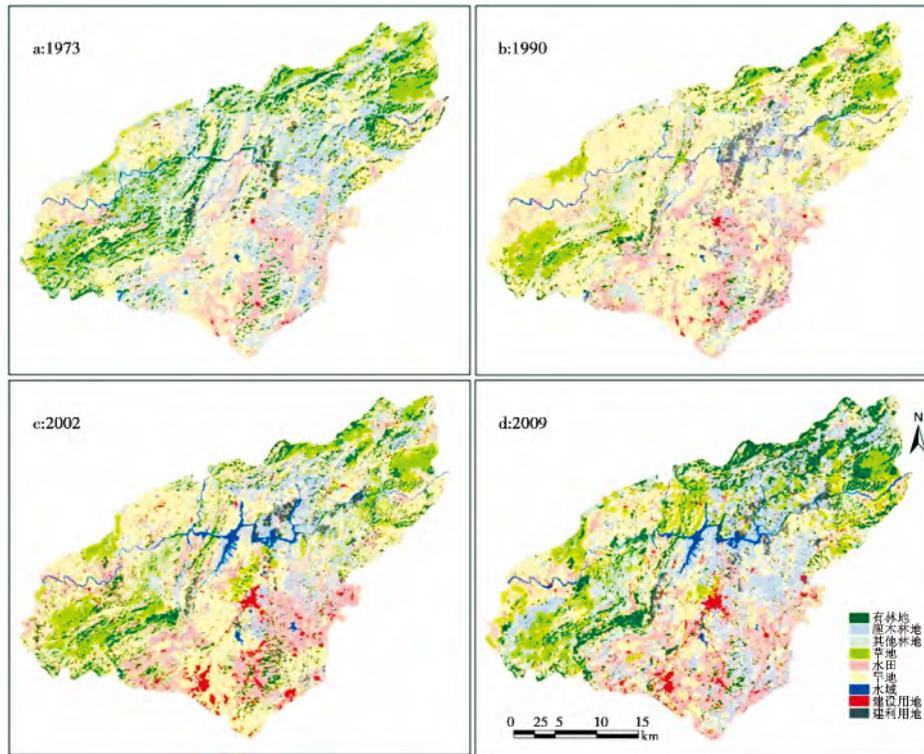


图1 普定县不同历史时期土地利用空间分布信息图

Fig.1 Spatial distribution map of Land use in different historical periods in Puding county

转移矩阵是土地利用类型间相互转化的数量及方向定量研究的主要方法,它能够具体反映土地利用变化的结构特征和各类型之间的转移方向。转移矩阵的数学形式可以表示为^[23]

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{n1} & p_{n2} & \cdots & p_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中 P 表示面积; n 表示土地利用类型数; P_{ij} 中的 i, j 分别表示研究初期与末期的土地利用景观类型。

2.2.3 土地利用景观格局分析

以景观几何特征为基础的景观格局分析,可以有效地反映土地利用景观的空间格局分布^[24]。本文利用 ArcGIS 9.3 的 Conversiontools 模块将各时段矢量数据转换成栅格数据,然后采用景观分析软件 Fragstats 3.3 计算景观格局指数,在分析景观结构和空间异质性变化的基础上,分析景观格局在时间上的变化规律,进而寻找景观演变的内在机制^[22]。景观分析指数很多,但许多指标是高度相关的^[25]。而恰当的景观指数选择主要依赖于研究目标、分析尺度和指数所表达的生态学意义^[26-27]。因此,根据研

究区景观斑块破碎、分散的特点,本文选择斑块数目 (NP)、斑块密度 (PD)、优势度指数 (D)、香农多样性指数 ($SHDI$)、香农均匀度指数 ($SHEI$) 和聚集度指数 ($COHESION$) 等 6 个重要的景观分析指标,对研究区土地利用景观格局进行分析。

3 结果与分析

3.1 不同历史时期土地利用结构及其变化

根据普定县 1973、1990、2002 及 2009 年 4 期土地利用矢量图的统计结果(图 1、表 2),可以发现:

1. 普定县土地利用方式主要为林地、草地和耕地,在 4 期土地利用中所占比重分别达到 98.42%、95.79%、93.55% 和 93.50%,其他土地利用方式所占比重不足 7%。

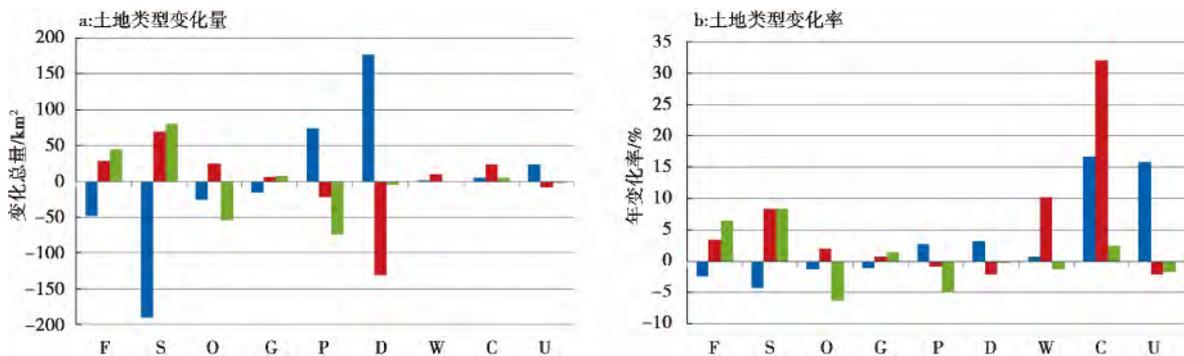
2. 1973—1990 年,林草地比重大大下降,由 53.59% 下降至 27.87%,耕地和难用地比重有很大增加,由 45.63% 增加至 70.86%,而 1990—2009 年,林草地、耕地和难用地的变化趋势与前一时段相反,林草地比重上升至 46.79%,耕地和难用地比重下降为 48.65%。

3. 建设用地比重一直呈上升趋势,从 1973 年的

表2 1973—2009年各土地利用类型面积及比重

Table 2 Area and proportion of land use during 1973—2009

土地利用类型	1973		1990		2002		2009	
	面积/km ²	比重/%						
有林地	116.30	10.66	67.89	6.22	96.54	8.85	140.60	12.89
其他林地	123.70	11.34	97.95	8.98	122.20	11.20	68.44	6.27
灌木林地	259.90	23.82	69.57	6.38	139.00	12.74	219.60	20.13
草地	84.74	7.77	68.63	6.29	74.34	6.81	81.85	7.50
水田	159.46	14.62	234.00	21.45	212.30	19.46	138.80	12.72
旱地	329.70	30.22	507.00	46.47	376.20	34.48	370.80	33.99
水域	6.93	0.63	7.81	0.72	17.33	1.59	15.70	1.44
建设用地	1.57	0.14	6.01	0.55	29.09	2.67	34.06	3.12
难利用地	8.71	0.80	32.13	2.95	24.00	2.20	21.14	1.94
总计	1 091.00	100.00	1 091.00	100.00	1 091.00	100.00	1 091.00	100.00



注: 横轴土地利用类型代码含义: F 有林地; S 灌木林地; O 其他林地; G 草地; P 水田; D 旱地; W 水域; C 建设用地; U 难利用地

图2 不同阶段各土地利用类型变化量及年变化率

Fig. 2 Amount and annual rate of land use change in the different stages

0.14% 增加到 2009 年的 3.12%; 水域面积 1973—2002 年呈上升趋势, 其中 2002 年水域面积较 1973 年面积增长两倍多, 2009 年较 2002 年面积又有所减少。

3.2 不同历史阶段各土地利用类型变化量与速率

根据普定县 1973—2009 年各土地利用类型变化量及年变化率(图 2), 可以看出:

1. 1973—1990 年, 林草地面积减少明显, 耕地、难利用地面积增长明显, 其中建设用地和难利用地增长较快, 年均增长率分别为 16.62% 和 15.83%。

2. 1990—2002 年, 林地、水域、建设用地面积增加明显, 耕地面积减少明显, 其中灌木林地、水域和建设用地年均增长率较大, 分别为 8.32%、10.16%、31.97%。

3. 2002—2009 年, 有林地、灌木林地面积增加明显, 其他林地、水田面积减少明显, 其中有林地、灌木林地年增长率较大, 分别达到 6.52%、8.28%, 其

他林地和水田减少较快, 年减少率为 6.28% 和 4.95%。

3.3 不同历史阶段土地利用类型的相互转化

普定县近 40 年来的土地利用/覆盖变化过程具有阶段性, 为全面了解研究区的土地利用变化过程与规律, 分别从 1973—1990 年、1990—2002 年、2002—2009 年三个阶段的土地利用转移矩阵来分析土地利用空间格局变迁(表 3、图 3):

1. 1973—1990 年, 耕地的增加主要来源于林地和草地的转移, 林草地向水田和旱地的转移面积分别达到了 101.7 km² 和 212.8 km²; 建设用地的增加主要源于耕地的转化; 增加的难利用地多源于灌木林地和旱地的转化; 在各类林地的相互转化上, 有林地和灌木林地向其他林地转移。

2. 1990—2002 年, 林草地的增加源于耕地的转化, 耕地向林草地转化的面积达到 177.78 km²; 耕地向水域、建设用地转移的数量也较多, 分别达到

9.9 km²、24.8 km²; 难利用地的减少则主要是向灌木林地的转移; 其他土地利用方式也存在不同程度的相互转化。

3. 2002—2009年林草地和耕地之间的相互转化较多, 耕地向林草地转移面积达到174.16 km², 同时也有部分林草地转为耕地, 转移面积达到97.1

km²; 建设用地的增加依然是源于耕地的转移; 水域的减少是向未利用地、旱地转移; 而难利用地的减少是向灌木林地和旱地转移。

3.4 不同历史时期景观格局变化

从研究区4期土地利用景观格局指数(表4), 可以看到, 近40年来的土地利用景观格局变化呈现

表3 普定县1973—2009年土地利用转移矩阵

Table 3 Land use transition matrix of Puding County during 1973—2009

/km²

土地利用类型	有林地	灌木林地	其他林地	草地	水田	旱地	水域	建设用地	难利用地	总计
1973—1990年										
有林地	26.4	6.3	17.2	11.3	16.9	36.2	0.8	0.0	1.2	116.3
灌木林地	7.9	30.3	26.0	16.2	53.7	111.2	0.8	0.4	13.3	259.9
其他林地	16.2	8.2	21.7	8.3	21.2	45.6	0.3	0.1	2.1	123.7
草地	11.7	6.9	13.9	20.6	9.9	19.8	0.1	0.0	1.9	84.7
水田	1.3	3.5	3.3	7.4	71.4	66.7	0.9	3.5	1.6	159.6
旱地	4.2	13.8	14.9	4.7	58.4	224.9	0.8	1.1	7.1	329.7
水域	0.1	0.1	0.2	0.1	0.9	1.3	4.1	0.0	0.3	6.9
建设用地	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.1	0.0	0.9	0.0	1.6
难利用地	0.2	0.5	0.9	0.0	1.1	1.2	0.0	0.0	4.8	8.7
总计	67.9	69.6	98.0	68.6	234.0	507.0	7.8	6.0	32.1	1 091.0
1990—2002年										
有林地	40.6	4.9	8.7	5.2	3.0	4.9	0.3	0.4	0.2	67.9
灌木林地	4.9	29.3	8.9	5.1	6.5	12.0	0.6	0.2	2.1	69.6
其他林地	18.4	17.1	29.0	10.4	8.2	13.1	0.4	0.3	1.2	98.0
草地	8.5	7.3	8.5	31.4	2.3	9.6	0.0	0.1	0.8	68.6
水田	9.0	21.9	21.2	6.6	93.0	63.9	3.6	12.0	2.6	233.8
旱地	14.6	47.7	43.9	12.9	96.3	265.3	6.3	12.8	7.2	506.9
水域	0.3	0.2	0.2	0.0	0.3	1.0	5.5	0.1	0.2	7.8
建设用地	0.0	0.1	0.1	0.0	1.4	1.2	0.1	3.2	0.1	6.0
难利用地	0.3	10.5	1.9	2.8	1.3	5.1	0.5	0.0	9.7	32.1
总计	96.5	139.0	122.2	74.3	212.3	376.2	17.3	29.1	24.0	1 091.0
2002—2009年										
有林地	62.1	8.0	6.3	4.2	0.4	14.8	0.2	0.4	0.2	96.5
灌木林地	13.6	65.6	10.0	11.1	1.4	33.1	0.2	1.1	2.9	139.0
其他林地	24.2	24.1	23.7	13.7	3.0	30.7	0.2	1.3	1.4	122.2
草地	16.2	14.5	6.0	23.1	0.2	13.5	0.0	0.3	0.6	74.3
水田	7.3	28.5	6.4	6.9	72.7	83.1	0.8	5.6	0.9	212.3
旱地	15.6	71.8	15.7	22.0	52.1	179.8	1.2	14.0	4.1	376.2
水域	0.5	0.4	0.1	0.0	0.6	1.5	12.8	0.1	1.4	17.3
建设用地	0.6	1.1	0.2	0.3	8.2	7.6	0.1	10.8	0.1	29.1
难利用地	0.3	5.7	0.2	0.6	0.3	6.7	0.3	0.4	9.5	24.0
总计	140.6	68.4	219.6	81.9	138.8	370.8	15.7	34.1	21.1	1 091.0

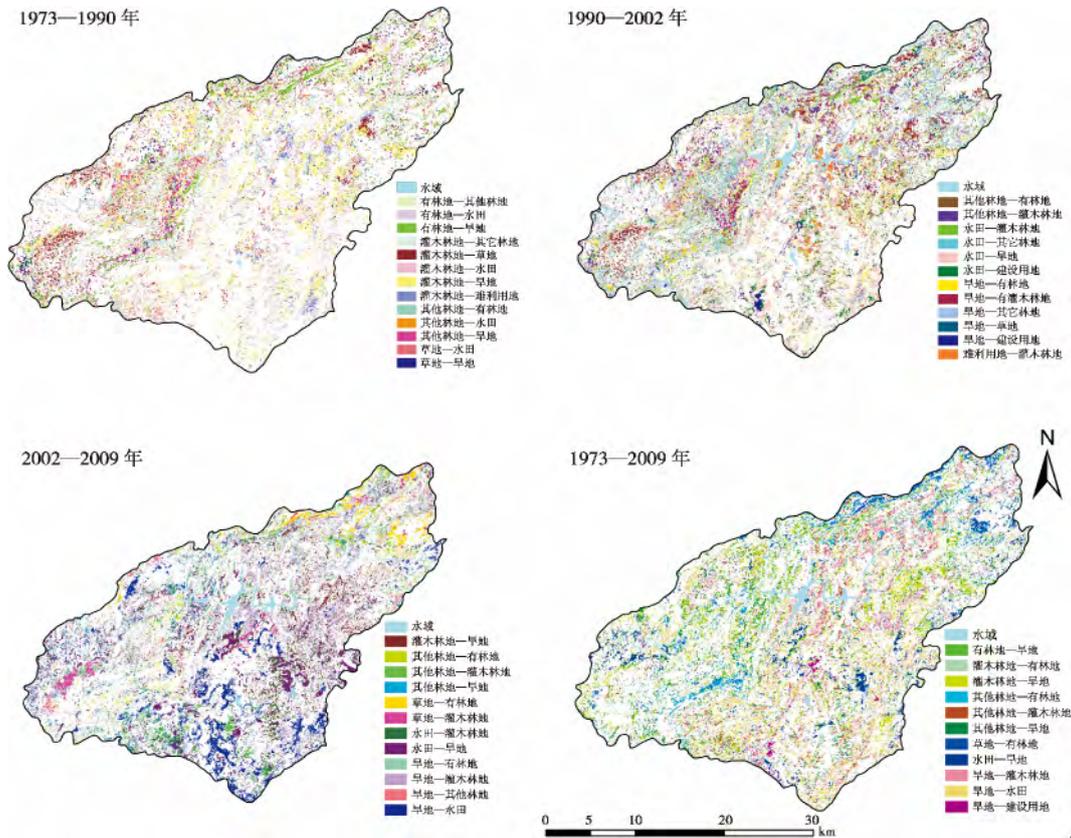


图3 普定县不同时期主要土地利用/覆盖转移方向图

Fig. 3 Land cover changes per period in Puding County

一定的规律性:

1. 景观斑块数量和总体斑块密度先增加后减少 2002 年之前呈现上升趋势, 分别由 1973 年的 18 540 个和 0.17 个/hm² 上升到 2002 年的 40 844 个和 0.38 个/hm², 景观破碎度增加; 之后又呈现下降趋势, 降至 2009 年的 27 541 和 0.25 个/hm², 景观破碎度减小。

2. 景观优势度指数由 1973 年的 1.56 增加到 1990 年的 1.72, 之后又下降至 2002 年的 1.57, 2009 年又略增加至 1.63, 呈现“增加→减少→增加”的趋势。表明 1973—1990 年阶段内, 处于支配地位的景观类型与其他景观类型所占比例的差异增大, 这与该时期林地减少, 耕地大量增加并占主导地位的历史是相符的; 1990—2002 年阶段内, 处于与支配地位的耕地与其他景观类型所占比例的差异减小, 景观结构趋于均匀, 2002—2009 年, 该阶段各景观类型比例差异略微增大, 趋于稳定。

3. 香农多样性指数和香农均匀度指数基本呈现相同的变化趋势。1973—1990 年, 呈下降趋势, 分别由 1973 年的 1.75 和 0.80 下降至 1990 年的 1.56

和 0.72, 景观异质性、多样性及均匀度减小, 景观类型有向单一化方向发展的趋势; 1990—2002 年, 呈上升趋势, 分别上升至 2002 年的 1.83 和 0.83, 景观多样性和均匀度增加; 2009 年较 2002 年有略微下降, 变化不大。

4. 景观聚集度指数变化趋势为“较快上升→下降→略微上升”表明 1990—1990 年, 各土地利用景观分布快速集中, 空间连接性增强; 1990—2002 年, 景观分布出现分散趋势, 联通性下降; 2002—2009 年, 景观分布又呈集中趋势, 联通性相对增强。

表4 景观破碎度、优势度、多样性和聚集度指数

Table 4 Landscape fragmentation, dominance, diversity and aggregation indexes

年度	NP (n)	PD (n/hm ²)	D	SHDI	SHEI	COHESION
1973	18 540	0.17	1.56	1.75	0.80	97.69
1990	27 921	0.26	1.72	1.56	0.72	98.92
2002	40 844	0.38	1.57	1.83	0.83	97.66
2009	27 541	0.25	1.63	1.82	0.83	97.91

3.5 土地利用/覆盖变化驱动机制

3.5.1 定性分析

根据普定县主要标志事件时间轴(图4),可以看出,半个世纪以来,普定县的土地利用/覆盖变化受人类活动和自然灾害的干扰增强,其生态环境演变历程大致分为三个阶段:

1. 1973—1990年,生态破坏阶段。该阶段受前期大跃进、大炼钢铁等历史事件及人口增长的影响,在生态环境脆弱的研究区内,出现大量的砍伐森林、陡坡开垦等破坏林草地的行为,导致水土流失加剧,石漠化面积增加。因此,该时段普定县的土地利用结构主要表现为林草地比重下降,耕地比重上升,难利用地面积增加。

2. 1990—2002年,生态恢复阶段。该阶段在国家政策主导下,普定县自1989年开始的长江中上游防护林建设等生态修复工程,在全县范围内退耕还林、封山育林;此外,该时期普定经济快速发展,进行了一系列的基础设施和城镇建设工程,如1995年建成发电的普定水电站,1996年和2001年的安顺电厂一、二期工程等,增加了普定县的建设用地面积,同时也占用了大量耕地,并且水坝截流河水形成夜郎湖,淹没其他土地的同时大大增加了水域面积。因此,该时段的土地利用结构主要表现为林草地面积增加,耕地面积下降,水域和建设用面积急剧增加,难利用地面积有所下降。

3. 2002—2009年,生态波动阶段。该时段仍然是普定县大力恢复生态的阶段,并在2006年开始了石漠化综合治理,林草地比重总体保持增长趋势;但此阶段内,研究区乃至贵州全省遭受了频繁地自然灾害,如2008年的南方冰雪冻雨灾害和2009年的

西南干旱,对普定县的生态环境带来一定的负面影响,因此,2009年相比2002年,局部地区有林地面积下降,转移为灌木林地,受干旱影响,水域面积也有所下降,生态环境总体呈波动上升趋势。

3.5.2 定量分析

随着LUCC研究的深入发展,定量分析在土地利用变化驱动机制分析中得到广泛应用。其中,主成分分析法是目前定量分析LUCC驱动机制的较为有效的方法之一。从研究区1973—2009年的土地利用变化来看,耕地是变化最为显著的土地利用类型之一,因此以耕地为例,对其驱动力进行定量分析。

本文选取影响土地利用变化的 X_1 (人口总量)、 X_2 (经济总量)、 X_3 (第一产业生产总值)、 X_4 (第二产业生产总值)、 X_5 (第三产业生产总值)、 X_6 (粮食总产量)、 X_7 (地方财政收入)、 X_8 (地方财政支出)、 X_9 (社会固定资产投资)、 X_{10} (农民人均纯收入)等10个社会经济驱动因子,在SPSS 19.0环境下,首先对耕地及其10个驱动因子进行相关性分析,结果,所选社会经济因子与耕地面积均存在比较显著的相关关系。因此,需要进一步通过主成分分析法,寻求影响耕地变化的主要因子,并定量揭示这些驱动因子对耕地变化的影响。通过对主成分分析表明,第一主成分和第二主成分累计贡献率达到94.018%(表5),提取两个主成分可以包含绝大部分的信息,已满足本文的分析需要。采用最大方差法进行旋转,计算得出因子旋转后载荷。

从表6看,人口数量、社会固定资产投资、经济总量与第一主成分的正相关最大;地方财政收入、粮食产量和第二主成分具有较大的正相关,从而表明:

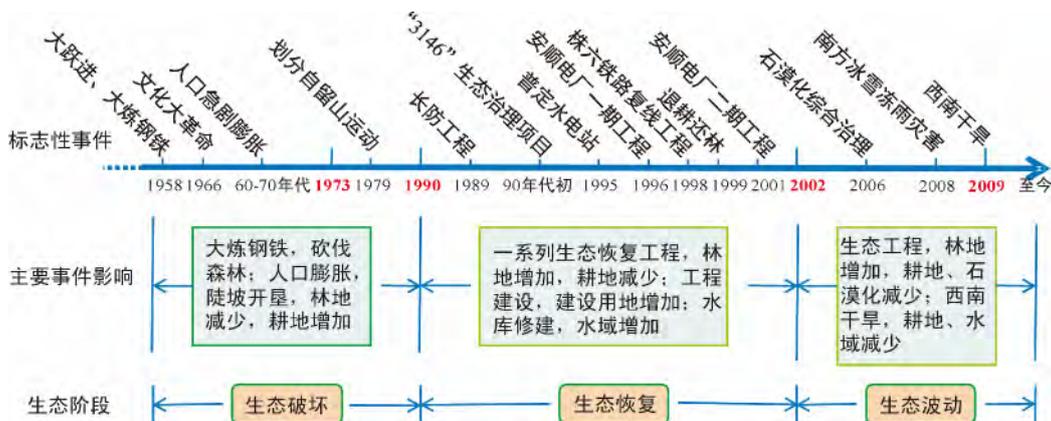


图4 普定县近60年来主要标志事件时间轴

Fig.4 Timeline of flag events in Puding County last 60 years

表5 耕地驱动因子的主成分特征值和贡献率

Table 5 Principal Component And Contribution Ratio of Characteristic Roots

主成分	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%
1	8.377	83.771	83.771
2	1.025	10.246	94.018
3	0.276	2.763	96.781
4	0.160	1.597	98.378
5	0.114	1.144	99.522
6	0.027	0.27	99.791
7	0.014	0.137	99.928
8	0.006	0.065	99.993
9	0.001	0.007	100
10	-3.2E-16	-3.2E-15	100

表6 耕地面积的驱动因子主成分荷载矩阵

Table 6 Component Loading Matrix of Driving Force of Cultivated Land Area

变量	第一主成分	第二主成分
人口数量(X_1)	0.983	0.286
经济总量(X_2)	0.951	0.182
第一产业产值(X_3)	0.931	0.041
第二产业产值(X_4)	-0.967	-0.606
第三产业产值(X_5)	0.744	-0.198
粮食产量(X_6)	0.916	0.332
地方财政收入(X_7)	0.878	0.392
地方财政支出(X_8)	0.923	0.145
社会固定资产投资(X_9)	0.954	0.112
农民人均纯收入(X_{10})	0.884	-0.452

研究区耕地面积变化的驱动力主要为人口增长、经济发展等因素,这与研究区建国以来人口、经济快速增长事实是相符的。

4 结论

通过对普定县 1973—2009 年土地利用变化时空特征、景观格局变化以及驱动机制分析,得出以下主要结论:

1. 普定县近 40 年来的土地利用结构变化主要为耕地和林地间的相互转化,1990 年前林地主要向耕地转移,1990 年后耕地主要向林地转化。

2. 普定县生态环境演化大致经历了生态破坏→生态恢复→生态波动三个阶段,生态功能不断增强,并趋于稳定。

3. 普定县土地利用及景观格局变化的主要驱动力为人口增长、经济发展、政府决策等因子。不合理的土地利用政策和人口膨胀导致的森林破坏、陡坡开垦给生态环境带来巨大压力,而国家退耕还林还草等生态修护措施及产业升级和转移,对普定县的生态恢复有极大地促进作用,此外,大规模地自然灾害对生态环境影响也较大。

4. GIS 和 RS 技术为区域土地利用/覆被变化监测与评估提供了有力的工具,为土地资源管理与研究提供了丰富的资源,使土地资源动态监控成为可能。但是,诸如土地经济社会属性、地表物种组成等难以通过遥感影像获取,小尺度土地研究精度还有待提高,因此,需要结合地面实地数据调查和不同时期历史记录数据进行分析,解决这些问题将有利于推进遥感信息技术在土地资源科学中发展。

参考文献(References)

- [1] Liu Jiyuan, Zhang Zengxiang, Zhuang Dafang, et al. A study on the spatial-temporal dynamic changes of land-use and driving forces analyses of China in the 1990s [J]. Geographical Research, 2003, 22(1): 1-12 [刘纪远, 张增祥, 庄大方, 等. 20 世纪 90 年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析 [J]. 地理研究, 2003, 22(1): 1-12]
- [2] Ramita Manandhar, Inakwu O A Odeh, Robert Gilmore Pontius Jr. Analysis of twenty years of categorical land transitions in the Lower Hunter of New South Wales, Australia [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2010, 135: 336-346
- [3] John E Wasige, Thomas A Groen, Eric Smaling, et al. Monitoring basin-scale land cover changes in Kagera Basin of Lake Victoria using ancillary data and remote sensing [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2013, 21: 32-42
- [4] Yu Xingxiu. The advances and problems of land use and land cover change research in China [J]. Progress in Geography, 2002, 21(1): 51-57 [于兴修. 中国土地利用/覆被变化研究的现状与问题 [J]. 地理科学进展, 2002, 21(1): 51-57]
- [5] Lambin E F, Ehrlich D. Land-cover changes in sub-saharan Africa (1982~1991): Application of a change index based on remotely sensed surface temperature and vegetation indices at a continental scale [J]. Remote Sens Environ, 1997, 61: 181-200
- [6] Liu Jiyuan, Liu Mingliang, Zhuang Dafang, et al. Study on spatial pattern of land-use change in China [J]. Science in China (Series D), 2002, 32(12): 1031-1043 [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(D 辑), 2002, 32(12): 1031-1040]
- [7] Chen Liding, Wang Jun, Fu Bojie, et al. Land-use change in a small catchment of northern Loess Plateau, China [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2001, 86(2): 163-72
- [8] Luo Geping, Zhou Chenghu, Chen Xi, et al. A methodology of characterizing status and trend of land changes in oases: a case study of

- Sangong River watershed, Xinjiang, China [J]. *Journal of Environmental Management*, 2008, 88(4): 775-83
- [9] Lambin E F, Baulies X, Bockstael N et al. Land-use and land-cover change (LUCC): Implementation strategy [G] //IGBP Report No. 48, IHDP Report No. 10, Stockholm, Bonn, 1999.
- [10] Bai Wanqi, Zhao Shidong. A comprehensive description of the models of land use and land cover change study [J]. *Journal of Natural Resources*, 1997, 12(2): 169-175 [摆万奇, 赵士洞. 土地利用和土地覆盖变化研究模型综述 [J]. *自然资源*, 1997, 12(2): 169-175]
- [11] Fu Bojie, Chen Liding, Ma Keming. The effect of land use change on the regional environment in the Yangjuangou catchment in the loess plateau of China [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1999, 54(3): 241-246 [傅伯杰, 陈利顶, 马克明. 黄土丘陵区小流域土地利用变化对生态环境的影响——以延安市羊圈沟流域为例 [J]. *地理学报*, 1999, 54(3): 241-246]
- [12] Shi Peijun, Chen Jin, Pan Yaozhong. Land use change mechanism in Shenzhen City [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55(2): 151-160 [史培军, 陈晋, 潘耀忠. 深圳市土地利用变化机制分析 [J]. *地理学报*, 2000, 55(2): 151-160]
- [13] 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]. *Geographical Research*, 1999, 18(2): 136-142 [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]
- [14] Zhang Huiyuan, Cai Yunlong, Wan Jun. The study on the landscape change in karst mountain area using TM image [J]. *Mountain Research*, 2000, 18(1): 18-25 [张惠远, 蔡运龙, 万军. 基于TM影像的喀斯特山地景观变化研究 [J]. *山地学报*, 2000, 18(1): 18-25]
- [15] Chen Yufu, Xu Xinliang, Wang Shiyong. Land use/cover change and degradation trend of the Ortindag Sandy Area in Inner Mongolia Plateau [J]. *Mountain Research*, 2006, 4(1): 60-64 [陈玉福, 徐新良, 王石英. 内蒙古高原浑善达克沙地区土地利用与覆被变化及退化趋势 [J]. *山地学报*, 2006, 4(1): 60-64.]
- [16] Peng Jian, Cai Yunlong, He Gang. Land use/cover change in ecologically fragile karst areas: a case study in Maotiaohe River Basin, Guizhou, China [J]. *Mountain Research*, 2007, 25(5): 566-576 [彭建, 蔡运龙, 何钢, 等. 喀斯特生态脆弱区猫跳河流域土地利用/覆被变化研究 [J]. *山地学报*, 2007, 25(5): 566-576]
- [17] Cai Yunlong. Ecological rehabilitation and development of agriculture, forestry and animal husbandry in karst mountain areas of southwest China: status quo and trend of study [J]. *Resources Science*, 1999, 21(5): 37-41 [蔡运龙. 中国西南喀斯特山区的生态重建与农林牧业发展: 研究现状与趋势 [J]. *资源科学*, 1999, 21(5): 37-41]
- [18] Wang Shijie, Li Yangbing, Li Ruiling. Karst rocky desertification: Formation background, evolution and comprehensive taming [J]. *Quaternary sciences*, 2003, 23(6): 657-666 [王世杰, 李阳兵, 李瑞玲. 喀斯特石漠化的形成背景、演化与治理 [J]. *第四纪研究*, 2003, 23(6): 657-666]
- [19] Wang Shijie, Li Yangbing. Problems and development trends about researches on karst rocky desertification [J]. *Advances in Earth Science*, 2007, 22(6): 573-582 [王世杰, 李阳兵. 喀斯特石漠化研究存在的问题与发展趋势 [J]. *地球科学进展*, 2007, 22(6): 573-582]
- [20] Li Yangbing, Bai Xiaoyong, Zhou Guofu et al. The relationship of land use with karst rocky desertification in a typical karst area, China [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(6): 624-632 [李阳兵, 白晓永, 周国富, 等. 中国典型石漠化地区土地利用与石漠化的关系. *地理学报*, 2006, 61(6): 624-632]
- [21] Zhao Ruifeng, Chen Yaning, Li Weihong et al. Land cover change and landscape pattern in the mainstream of the Tarim River [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(1): 95-106 [赵锐锋, 陈亚宁, 李卫红, 等. 塔里木河干流区土地覆被变化与景观格局分析 [J]. *地理学报*, 2009, 64(1): 95-106]
- [23] Bai Genchuan, Xia Jianguo, Wang Changquan et al. Land use transition in Dongpo District, Meishan City in China based on a tentative model for analyzing spatial transition of land use types [J]. *Resources Science*, 2009, 31(10): 1793-1799 [白根川, 夏建国, 王昌全, 等. 基于地类空间转化趋势模型的眉山市东坡区土地利用转化分析 [J]. *资源科学*, 2009, 31(10): 1793-1799]
- [24] Zhang Fei, Tashpola. Tiyp, Ding Jianli et al. The change of land use/cover and characteristics of landscape pattern in arid areas oasis: a case study of Jinghe County, Xinjiang Province [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(3): 1251-1263 [张飞, 塔西甫拉提·特依拜, 丁建丽, 等. 干旱区绿洲土地利用/覆被及景观格局变化特征——以新疆精河县为例 [J]. *生态学报*, 2009, 29(3): 1251-1263]
- [25] Wu Bo, Ci Longjun. Temporal and spatial patterns of landscape in the Mu Us Sandland, northern China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(2): 191-196 [吴波, 慈龙骏. 毛乌素沙地景观格局变化研究 [J]. *生态学报*, 2001, 21(2): 191-196]
- [26] Li Xiuzhen, Bu Rencang, Chang Yu. The response of landscape metrics pattern scenarios [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(1): 123-134 [李秀珍, 布仁仓, 常禹. 景观格局指标对不同景观格局的反应 [J]. *生态学报*, 2004, 24(1): 123-134]
- [27] Fu Bojie, Lü Yihe, Chen Liding et al. The latest progress of landscape ecology in the world [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(2): 798-804 [傅伯杰, 吕一河, 陈利顶, 等. 国际景观生态学研究新进展 [J]. *生态学报*, 2008, 28(2): 798-804]

History of Land Use Change and Driving Mechanism of Typical Guizhou Plateau Region During 40 Years

QIN Luoyi^{1,3}, BAI Xiaoyong^{1,2}, WANG Shijie^{1,2}, ZHOU Dequan³, CHEN Weiyan^{1,4},
LUO Guangjie^{1,4}, ZHANG Siyu^{1,4}, CUI Zeyin³

(1. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China;

2. Karst Ecosystem Observation Research Station in Puding, Chinese Academy of Sciences, Puding 562100, Guizhou, China;

3. School of Geography and Environmental Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China;

4. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: In order to reveal the process and driving mechanism of land use change in karst region, put Puding county of Guizhou plateau, China as the research object, with the GIS and RS technology support, and combine with the landscape index analysis method, using 1973 MSS, 1990, 2002 and 2009 TM remote sensing image to quantitative analysis the extent, speed, regional difference and landscape pattern of land use change. The results show that: 1. The main structure change of land use is the mutual conversion between woodland, grassland and farmland, before 1990, the woodland and grassland transfer to the farmland was 28.83%; but after 1990, the farmland transfer to the woodland and grassland was 16.30%. 2. Waters and unused land increased first and then decline, the proportion increased by 0.81% and 1.14% respectively in study period, and the trend of construction land has been increased by 2.98%. 3. Landscape fragmentation and dominance index increased after decreased first, but diversity and evenness increased after decreases first. Combine with the driving force analysis suggests that study period could be divided into three obvious times: “before 1990”, “1990—2002” and “after 2002”, and in remote sensing image or land use map, the characteristics of ecological presents “worse” → “better” → “coexist”, it relates to the human driver of “ecological destruction” → “ecological restoration” → “restoration and destruction coexistence”.

Key words: land use/cover change; landscape pattern; driving force mechanism; Guizhou plateau; Puding country