

# 基于 GIS 的典型岩溶流域土地利用变化分析

## ——以云南省小江流域为例

李华, 蒋勇军, 况明生, 石辉

(西南师范大学 资源与环境科学学院, 重庆 400715)

**摘要:** 在 GIS 支持下, 利用云南小江流域两期土地利用图形数据叠加分析, 得到土地利用变化图和土地利用转移矩阵。结果发现, 1982—2003 年全流域 610.12 km<sup>2</sup> 的土地利用面积发生变化, 占流域总面积的 59%。土地利用的类型主要是由未利用地向耕地和林地以及林地向耕地的转化, 流域综合土地利用变化动态度达 2.95%。土地利用空间格局的基本构型由以大斑块为主体, 散布型斑块镶嵌其中转变为以中等斑块为主体, 散布型斑块镶嵌其中的构型; 区域土地利用的斑块数由 1 014 个增加到 1 889 个, 平均斑块面积由 1.02 km<sup>2</sup>/个减少到 0.55 km<sup>2</sup>/个; 流域土地利用空间格局指数中多样性指数增长 4.14%, 均匀度指数增长 4.14%, 破碎度指数增长 84.6%, 优势度指数降低 1.6%; 未利用地、林地的分离度分别增加 114.58% 和 69.64%, 而耕地的分离度减少 45.86%; 流域耕地、建设用地重心向东北方向偏移, 而未利用地、林地重心向南东、南西方向偏移。引入社会、经济数据分析, 人口增长、经济发展是流域耕地增加进而导致系列土地利用变化的主要人文驱动力, 而生态环境保护等宏观政策是流域林地变化的主要驱动力。

**关键词:** 典型岩溶流域; GIS; 土地利用变化; 人文驱动力

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2005)02-0005-07

中图分类号: F301.24

## Land Use Change in Typical Karst Watershed Using GIS-based Analysis

### ——Taking Xiaojiang Watershed of Yun'nan Province as an Example

LI Hua, JIANG Yongjun, KUANG Ming-sheng, SHI Hui

(College of Resources and Environment Science, Southwest China Normal University, Chongqing 400715, China)

**Abstract:** The land use change graph from 1982 to 2003 of Xiaojiang watershed in typical karst region was analyzed by GIS based on 2 times spatial data. The results showed: (1) the cultivated land increased was the most important changes, which was transformed from unused land. 610.12 km<sup>2</sup> land use had been changed, of which 268.5 km<sup>2</sup> or 44.01% of the total was changed into cultivated land during the past 20 years in Xiaojiang watershed. (2) The annual change rate of regional land use was 2.95%, while the annual change rate of cultivated land, unused land and forestland were 10.55%, 4.08% and 5.95%, respectively. (3) The spatial pattern of land use in Xiaojiang watershed changed from composed of large and scatter patches mosaic to compose of middling and scatter patches mosaic, and the types of dominating patch have also been changed, which changed from unused land and forestland patch to cultivated land and forest land patch. (4) When the spatial pattern of land use in Xiaojiang watershed was analyzed quantitatively by introducing the diversity index, dominance index, homogeneity index and broken index, a clear picture of the interference degree caused by human activities can be made. As the increasing of disturbances from human, the diversity index, the homogeneity index and the broken index all increase, especially the broken index increased by 84.6%. (5) By analyzing of the change of the land use gravity center, the change of land use spatial pattern was very obvious during the past 20 years in Xiaojiang watershed. The land use gravity center has changed in different speed. Finally, analyzed quantitatively by introducing society and economy data, it was clarified that the rapid growth of population and the economic development for survival were the main driving forces of land use change in Xiaojiang watershed during the past 20 years. Furthermore, macro-policies such as ecological protection were also important human driving forces of land use change.

**Keywords:** typical karst watershed; GIS; land use change; human driving force

收稿日期: 2004-07-09

资助项目: 国土资源部岩溶动力开放实验室资助(2004-5-5); 西南师大自然博士开放基金

作者简介: 李华(1978-), 女(汉族), 哈尔滨人, 硕士研究生, 主要研究方向为岩溶环境。E-mail: pillarhuar@126.com。

区域土地利用变化已经成为全球变化研究的热点之一<sup>[1-2]</sup>, 目前国内外在这方面进行了大量的研究, 但大多侧重于热带雨林退化或经济高速发展下的城市扩展<sup>[3-10]</sup>; 对于生态环境脆弱、经济发展水平相对较低的岩溶地区的土地利用变化研究较少。长期以来, 岩溶地区随着人口急剧增加, 过垦、滥伐等不合理的土地利用方式造成了岩溶地区的石漠化、水土流失、水质污染、土壤退化以及生物多样性减少等生态环境问题<sup>[11]</sup>, 这对当地的生存环境演变和可持续发展产生了严重的影响。本文以云南小江典型岩溶流域为例, 研究了其近 20 a 来土地利用的变化, 探讨了岩溶区土地利用的时空格局变化及其形成原因, 以期对岩溶地区土地管理决策、生态环境保护提供科学的依据。

## 1 研究区概况

小江流域位于云南省东南部, 东经  $103^{\circ} 32' - 104^{\circ} 00'$ , 北纬  $24^{\circ} 12' - 24^{\circ} 45'$ , 流域面积  $1\,034\text{ km}^2$ ; 气候属于亚热带高原季风气候, 干、湿季分明; 地貌类型由山间盆地和盆周山地组成, 形成高山、河谷相间, 平坝、丘陵交错的地形格局, 地势东北高西南低, 相对高差  $1\,638\text{ m}$ 。小江是境内唯一的河流, 经南盘江注入珠江; 地带性土壤为红壤, 占总面积的  $46.6\%$ ; 境内分布广泛的三叠纪、二叠纪石灰岩地层, 石灰岩面积占全流域面积的  $65\%$ , 岩溶地貌发育。

小江流域是以种植业为主的农业区, 2003 年全流域总人口  $2.27 \times 10^5$  人, 农业人口  $2.0 \times 10^5$  人, 占总人口的  $87.9\%$ , 农牧业生产总值  $2.27 \times 10^8$  元, 占全流域国民生产总值的  $67.96\%$ ; 农产品以水稻、玉米、烤烟为主, 水稻产量占粮食总产量的  $38\%$ , 玉米占粮食总产量的  $30\%$ 。随着经济结构的调整, 果园发展迅速, 成为云南高原优质梨生产基地。

该流域位于我国南方生态环境脆弱地带, 近年来, 由于该地区人口剧增, 滥垦、滥伐等不合理的土地利用方式与其特殊的自然环境(岩溶脆弱生态环境)相耦合, 造成该地区石漠化大面积扩展, 石漠化面积达  $180.2\text{ km}^2$ , 严重石漠化面积达  $28.13\text{ km}^2$ , 并造成流域水土流失、土壤退化、地下水水质污染等一系列生态环境问题。

## 2 数据来源及研究方法

### 2.1 数据来源及处理

土地利用数据来源于小江流域 1982 年  $1:100\,000$  土地利用现状图和 2003 年调查的  $1:50\,000$  土地利用现状图以及相关的资料, 在 GIS 支撑下, 通过矢量

化、坐标系统和投影系统的转换后, 获得土地利用的空间与属性数据; 在此基础上, 利用 GIS 空间分析功能, 对两期土地利用图进行叠加分析, 从而求出不同时段土地利用类型的转移矩阵<sup>[12]</sup>和土地利用格局变化图。

土地利用分类系统采用《全国土地利用现状调查技术规程》规定的土地利用分类系统。考虑到资料整理的可操作性及土地利用变化分析精度要求, 我们把 1982 年土地利用分类系统转换为统一的分类系统, 将交通用地合到建设用地中。同时由于该流域没有草地一级分类类型, 故将流域一级土地利用类型分为耕地、林地、园地、建设用地、水域和未利用土地 6 种类型。在利用 GIS 进行数据处理时, 考虑到采用二级分类系统数据过于庞杂, 故本研究采用分类系统中的一级类型。

其它数据来源于  $1:50\,000$  地形图、小江流域 1982—2003 年统计年鉴、土地志、农业志以及实地调查等。

### 2.2 分析方法

利用两期土地利用图和变化图及土地利用转移矩阵分析土地利用/覆盖变化(LUCC)过程; 然后在 GIS 强大的空间分析技术支持下, 借用景观生态学的原理, 采用土地利用景观的多样性指数、优势度指数、均匀度指数、破碎度指数、分离度以及重心转移等对流域土地利用变化的空间格局及变化进行定量分析; 在此基础上, 引入社会经济指标, 在 SPSS 软件支持下, 分析流域土地利用变化的驱动机制。

## 3 结果与分析

### 3.1 土地利用变化分析

土地利用的变化首先反映为不同类型的总量和格局变化, 通过分析土地利用类型的变化, 可以了解土地利用变化总的态势和土地利用结构的变化。两个时期的土地利用现状见表 1。1982 年, 主要土地利用类型为未利用土地、林地和耕地, 分别占土地总面积的  $49.94\%$ ,  $27.84\%$  和  $19.63\%$ ; 2003 年流域土地利用的主要类型为耕地、林地和未利用地, 分别占土地总面积的  $45.6\%$ ,  $27.47\%$  和  $22.77\%$ 。20 a 来, 流域内耕地增加  $132.27\%$ , 园地增加  $581.82\%$ , 水域增加  $8.4\%$ , 建设用地增加  $71.8\%$ , 而未利用地减少  $54.36\%$ , 林地减少  $1.35\%$ , 这样造成土地利用类型格局发生很大的变化, 主要由未利用地转变为耕地, 未利用土地则明显减少。因此, 整个土地利用类型的格局由以未利用地和林地为主的格局转变为耕地和林地为主的格局。

分析表明, 流域内 20 a 来土地利用发生变化的总面积为 610.12 km<sup>2</sup>, 占流域总面积的 59%, 主要体现在 6 种变化类型(表 2)。小江流域 20 a 来, 土地利

用变化的类型主要是未利用地向耕地和林地的转化, 占全流域土地利用变化面积的 55.89%; 其次是林地

表 1 1982 年和 2003 年 2 个时期小江流域土地利用现状

年份	项目	耕地	林地	园地	建设用地	水域	未利用地	$\Sigma$
1982	面积/ km <sup>2</sup>	203.00	287.90	0.22	19.50	7.38	516.00	1034.00
	比例/ %	19.63	27.84	0.02	1.89	0.72	49.90	100.00
2003	面积/ km <sup>2</sup>	471.50	284.00	1.50	33.50	8.00	235.50	1034.00
	比例/ %	45.60	27.47	0.15	3.24	0.77	22.77	100.00

表 2 小江流域 1982—2003 年土地利用变化的主要类型面积统计

土地利用变化类型	变化面积/ km <sup>2</sup>	占全流域变化面积百分比/ %
未利用地转耕地	210.00	34.42
未利用地转林地	131.00	21.47
林地转耕地	134.29	22.01
耕地转林地	37.19	6.10
耕地转未利用地	34.94	5.73
林地转未利用地	33.91	5.56
其它类型转化	28.79	4.71
合计	610.12	100.00

根据其变化面积的大小, 依次为未利用地转化为耕地、林地转化为耕地、未利用地转化为林地、耕地转化为林地、耕地转化为未利用地、林地转化为未利用地等, 上述 6 种土地利用变化面积占全流域土地利用变化总面积的 95.29%; 并且从各种土地利用类型的相互转化过程中来看, 未利用地对耕地变化的贡献率达 44.53%, 未利用地对林地变化的贡献率达 46.12%, 林地对耕地变化的贡献率 28.48%。所以, 未利用地、耕地和林地的变化是小江流域土地利用变化的核心, 因而也是分析该流域土地利用变化驱动机制的突破口。

### 3.2 土地利用变化的速率

本文利用刘盛和等<sup>[13]</sup>提出的土地利用动态变化的空间分析模型来计算流域土地利用的动态变化速率。该模型考虑了各土地利用类型的空间转移和新增过程, 与以往的数量模型相比能更为准确和精细地测算各土地利用类型的动态变化程度, 对比较土地利用变化的区域差异和预测未来土地利用变化趋势有积极意义。其计算公式为:

$$T_{RL_i} = (L_{A_{(i,t_2)}} - U_{LA_i}) / L_{A_{(i,t_1)}} / (T_2 - T_1) \times 100\% \quad (1)$$

$$I_{RL_i} = (L_{A_{(i,t_2)}} - U_{LA_i}) / L_{A_{(i,t_1)}} / (T_2 - T_1) \times 100\% \quad (2)$$

$$C_{CL_i} = T_{RL_i} + I_{RL_i} \quad (3)$$

式中:  $C_{CL_i}$  —— 研究时段内某一土地利用类型的土地利用动态度(年均变化速率);  $T_{RL_i}$  —— 第  $i$  种土地利用类型在监测时期的  $t_1$  至  $t_2$  期间的转移速率;  $I_{RL_i}$  —— 新增速率;  $L_{A_{(i,t_1)}}$ ,  $L_{A_{(i,t_2)}}$  —— 研究期初和研究期末第  $i$  种土地利用类型的数量;  $U_{LA_i}$  —— 为监测期间第  $i$  种土地利用类型未变化部分。

根据公式(1) 计算出小江流域各种土地利用类型的土地利用动态度(年变化速率), 其中园地的动态度最快, 达 34.09%, 建设用地的动态度最低, 为 3.59%, 各种土地利用类型的动态度顺序为: 园地(34.09%) > 耕地(10.55%) > 水域(9.00%) > 林地(5.95%) > 未利用地(4.08%) > 建设用地(3.59%)。

综合土地利用动态度可以测算和比较区域土地利用变化的总体或综合活跃程度, 利用刘纪远等提出来的基于 GIS 空间分析技术的测算模型<sup>[14]</sup> 来计算流域的综合土地利用动态度, 该模型同时考虑了土地利用变化的数量和空间属性, 计算公式为:

$$S = \sum_{i=1}^6 (L_{A_{(i,t_2)}} - U_{LA_i}) / \sum_{i=1}^6 L_{A_{(i,t_1)}} / (T_2 - T_1) \times 100\% \quad (4)$$

式中:  $S$  —— 区域研究时段内区域综合土地利用动态度, 其余同公式(1—3)。根据公式(4) 计算出小江流域土地利用的综合土地利用动态度(年变化速率),  $S$  为 2.95%。

### 3.3 土地利用空间格局变化的分析

土地利用是由大大小小的斑块组成的, 斑块的空间分布称为格局。

通过空间格局分析可以把土地利用的空间特征与时间过程联系起来, 从而能够较为清楚地对土地利用内在规律进行分析和描述, 而对空间格局的定量描述是分析土地利用的结构、功能及过程的基础。文章借用景观生态学的原理, 从土地利用的景观空间角度, 采用土地利用景观多样性指数、优势度指数、均匀度指数、破碎度指数<sup>[15]</sup>、土地利用斑块变化、分离度、土地利用类型的重心转移模型等来对小江流域土地利用的空间格局变化进行定量分析。

3.3.1 土地利用的多样性指数  $H$  及变化率 多样性指数是指土地利用中类型的丰富和复杂程度,其值的大小反映土地利用类型的多少和各类型所占比例的变化,计算公式如下:

$$H = - \sum_{i=1}^6 P_i \ln P_i \quad (5)$$

式中:  $P_i$  ——分别为区域某一时段某一种土地利用类型所占的面积比;其变化率为 2 期土地利用多样性指数之差除以前期数,再乘以 100%。

3.3.2 土地利用的优势度指数  $D$  及变化率 优势度指数用于测度土地利用结构中一种或几种类型支配整个土地利用的程度,计算公式为:

$$D = H_{\max} + \sum_{i=1}^6 P_i \ln P_i \quad (6)$$

式中:  $H_{\max} = \ln m$ ;  $m$  ——研究区域土地利用类型总数;其变化率为 2 期土地利用优势度指数之差除以前期数,再乘以 100%。

3.3.3 土地利用的均匀度指数及变化率 均匀度指数是描述土地利用中不同类型的分配均匀程度,计算公式为:

$$E = H / H_{\max} \times 100\% \quad (7)$$

其变化率为 2 期土地利用均匀度指数之差除以前期数,再乘以 100%。

3.3.4 土地利用的破碎度指数及变化率 破碎度指数是指土地利用被分割的破碎程度,计算公式为:

$$C = \sum n_i / A \quad (8)$$

式中:  $n_i$  —— $i$  种土地利用的斑块数量;  $A$  ——总面积,其变化率为 2 期土地利用破碎度指数之差除以前期数,再乘以 100%。

通过计算,得到小江流域不同时期土地利用的空间格局指数及其变化值(见表 3)。空间格局指数的大小,从侧面反映人类活动对区域土地利用的干扰程度。20 a 来,小江流域土地利用的空间格局指数中多样性指数提高 4.14%,均匀度指数提高 4.14%,破碎度指数增大了 84.6%,而优势度指数则降低了 1.6%。这表明随着人类干扰强度的提高,土地利用的多样性指数提高,均匀度指数和破碎度指数也随着提高。因为,随着人口的增加,人类活动不断加强,各种农业用地和非农业用地增加,造成对未利用土地的开发力度加大,其面积比例不断减少,特别表现在区域土地利用景观的破碎度指数急剧增大。

### 3.4 土地利用空间格局的斑块构型及斑块的变化

对 2 期土地利用图中斑块进行统计分析,1982 年景观类型斑块面积大于  $1 \text{ km}^2$  的大型斑块为 552

个,占斑块总数的 54.5%,故 1982 年流域景观空间格局的基本构型以大斑块为主体,中、小型斑块镶嵌其中,而 2003 年景观斑块面积大于  $0.5 \text{ km}^2$  小于  $1 \text{ km}^2$  的中型斑块为 1025 个,占斑块总数的 54.2%,故 2003 年流域景观空间格局构型则为以中型斑块为主体,小型、大型斑块镶嵌其中,并且 1982 年构成土地利用的主体是大型的未利用地斑块和林地斑块,其它斑块镶嵌其中;2003 年构成土地利用的主体是耕地斑块和林地斑块,其它斑块镶嵌其中,并且斑块的面积呈现减少趋势,镶嵌斑块的数量明显增多。这基本上反映了研究区盆地和盆周山地的自然条件和人类活动对土地利用空间格局的影响。同时,利用两期土地利用图,在 GIS 技术支持下,通过空间统计分析,可以获得不同时段土地利用类型斑块数量和斑块面积的变化(详见表 4)。

表 3 小江流域 1982—2003 年土地利用景观的空间格局指数值及变化

项目	多样性指数 $H$	优势度指数 $D$	均匀度指数 $E$	破碎度指数 $C$
1982 年	1.159	0.633	64.685	0.981
2003 年	1.207	0.585	67.364	1.827
变化值	0.048	-0.048	2.679	0.846
变化率%	4.140	-1.600	4.140	84.600

结果表明,20 a 来,流域土地利用类型的总斑块数由 1014 个增加到 1889 个,斑块平均面积由  $1.02 \text{ km}^2/\text{个}$  减少到  $0.55 \text{ km}^2/\text{个}$ ;从土地利用类型来看,土地利用类型的斑块数增加最多的是建设用地,增加了 331 个,耕地增加 229 个,林地增加 179 个,水域增加 143 个,园地增加 1 个,而未利用地则减少 8 个;平均斑块面积园地增加最大,平均斑块面积增加了  $0.302 \text{ km}^2/\text{个}$ ,增幅达 413.7%,其次是耕地增加了  $0.241 \text{ km}^2/\text{个}$ ,增幅为 46.44%,其余土地利用类型则有不同程度减少,林地平均斑块面积减少了  $1.861 \text{ km}^2/\text{个}$ ,减少幅度达 64.64%,未利用土地的平均斑块面积减少了  $1.154 \text{ km}^2/\text{个}$ ,减少幅度达 52.77%,水域平均斑块面积减少了  $0.226 \text{ km}^2/\text{个}$ ,减少幅度达 82.78%,建设用地平均斑块面积减少了  $0.019 \text{ km}^2/\text{个}$ ,减少幅度达 25%。这表明研究区内由于人口的剧增,耕地需求增大,大量毁林、开荒,造成耕地扩大,并连片分布,斑块面积增大,同时园地斑块面积扩大;而其它土地利用类型则不同程度地被蚕食,斑块面积减小,造成景观破碎化程度增加;其中以未利用土地、耕地和林地斑块的变化最为剧烈。

表 4 1982—2003 年小江流域土地利用空间格局变化

项目	耕地	林地	园地	建设用地	水域	未利用地	
1982 年	391.00	100.00	3.00	257.00	27.00	236.00	
斑块 占斑块总数/ %	38.56	9.86	0.30	25.35	2.66	23.27	
2003 年	620.00	279.00	4.00	588.00	170.00	228.00	
数 占斑块总数/ %	32.82	14.77	0.21	31.13	9.00	12.07	
/ 个 增减数	+ 229.00	+ 179.00	+ 1.00	+ 331.00	+ 143.00	- 8.00	
变化/ %	58.57	179.00	33.33	128.79	529.63	- 3.39	
平均斑 块面积/ km <sup>2</sup>	1982 年 0.52	2.88	0.07	0.08	0.27	2.19	
2003 年	0.76	1.02	0.38	0.06	0.05	1.03	
变化/ %	+ 46.44	- 64.64	+ 413.70	- 25.00	- 82.78	- 52.77	
分离度 F	1982 年 1.57	0.56	126.58	13.12	36.39	0.48	
2003 年	0.85	0.95	21.44	11.69	26.20	1.03	
变化/ %	- 45.86	+ 69.64	- 83.06	+ 10.90	- 28.00	+ 114.58	
重心 坐标/ (°)	1982 年 103.77 24.51	103.75 24.46	103.78 24.50	103.76 24.49	103.75 24.53	103.78 24.48	
重 心 转 移	重心的 地理区域	盆地 平坝区	中深切割 岩溶中山 峰丛洼地区	盆地 平坝区	盆地 平坝区	盆地 平坝区	中深切割 岩溶中山 峰丛洼地区
2003 年重心 坐标/ (°)	103.77 24.51	103.75 24.45	103.78 24.54	103.77 24.50	103.76 24.53	103.79 24.47	
重心的 地理区域	盆地, 平坝区	中深切割, 岩溶中山, 峰丛洼地区	浅切割, 岩溶峰, 丛洼地区	盆地, 平坝区	盆地, 平坝区	中深切割, 岩溶中山, 峰丛洼地区	
迁移方向	东北	南偏西	北	东北	东南	南偏东	
迁移距离/ km	0.22	1.34	4.76	0.44	0.78	2.08	

### 3.5 土地利用的分离度指数及变化率

土地利用的分离度是指土地利用类型中某一种土地利用类型中不同斑块个体分布的分离程度, 计算公式如下<sup>[16]</sup>:

$$F_i = D_i / S_i \quad (9)$$

式中:  $F_i$  —— 景观类型的分离度指数;  $D_i$  —— 景观类型的距离指数,  $D_i = 1/2 \sqrt{n/A}$ ;  $S_i$  —— 景观类型的面积指数,  $S_i = A_i/A$ ;  $A_i$  —— 景观类型  $i$  的总面积;  $A$  —— 景观的总面积;  $n$  —— 景观类型  $i$  中的斑块总个数。其变化率为 2 期土地利用分离度之差除以前期数, 再乘以 100%。根据上述公式, 分别计算出流域各种土地利用类型的分离度指数(表 4)。

分离度分析结果为, 1982 年流域土地利用类型的分离度从大到小依次为园地 > 水域 > 建设用地 > 耕地 > 林地 > 未利用地; 2003 年流域土地利用类型的分离度从大到小依次为水域 > 园地 > 建设用地 > 未利用地 > 林地 > 耕地。这表明 1982 年时, 流域人口较少, 对流域土地资源的开发力度不大, 流域生态环境较好, 未利用地和林地分布集中, 并且斑块面积较大; 随着人口的迅速增加, 对流域土地资源开发力度的加大, 大量开垦未利用地和毁林开荒, 耕地面积

急剧增加而未利用地和林地的急剧减少, 造成耕地平均斑块面积增大并集中连片分布, 分离度变小, 减少了 45.86%; 而未利用地和林地平均斑块面积变小, 分布分散, 分离度增大, 分别增大了 114.58% 和 69.64%。

### 3.6 土地利用类型的重心转移

区域土地利用空间变化的一个整体特征是土地利用类型重心的迁移, 这一特征可以用重心坐标的变化来反映。重心坐标的计算方法类似于人口分布重心模型<sup>[17]</sup>, 数学形式为:

$$X_t = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{ii} \times X_i)}{\sum_{i=1}^n (X_i)}, \quad Y_t = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{ii} \times Y_i)}{\sum_{i=1}^n (Y_i)} \quad (10)$$

式中:  $X_t, Y_t$  —— 分别表示第  $t$  年某土地利用类型分布重心的经纬度坐标;  $C_{ii}$  —— 表示第  $i$  个小区该类型的面积;  $X_i, Y_i$  —— 分别表示第  $i$  个小区几何中心的经纬度坐标。

通过考察土地利用类型重心的迁移可以在一定程度上了解区域土地利用空间格局的变化, 将重心转移方向、转移距离与区域自然条件相联系, 定性层面上可以反映土地利用类型质量的总体变化趋势。本

文根据流域 6 个自然地理单元小区,按上述公式,分别计算出流域不同时期各种土地利用类型的重心及变化情况(表 4)。

从中可看出流域耕地重心向东北方向偏移 0.222 km,建设用地重心向东北方向偏移 0.436 km,而林地重心向南偏西偏移 1.338 km,未利用地重心向南偏东偏移 2.08 km,园地重心向北偏移 4.76 km,水域重心向东南偏移 0.782 km。通过分析两期土地利用变化可知,20 a 来,由于人口急剧增加,对流域东、东北部的未利用地的大量开垦及对东部的林地大量砍伐,以换得耕地和建设用地的扩大。因此,在空间上反映为流域耕地和建设用地重心都向东北方向的偏移,而林地和未利用地的重心则向南西方向和南东方向的偏移;同时,偏移距离反映了流域土地利用变化速率的快慢,偏移的距离越大,其变化速率也越大。

## 4 区域土地利用变化的驱动机制分析

区域土地利用变化的驱动力主要包括自然驱动力和人文驱动力。自然驱动力指气候、地形、地质、土壤等自然因素;而人文驱动力包括人口、政策和社会经济发展水平等。由于区域自然因素在研究时段没有发生显著的变化,在分析区域土地利用变化时,人文驱动力是区域土地利用变化的主要原因。

根据对研究区土地利用核心类型及其特征的分析,区域土地利用变化的 6 种主要转化类型中,未利用地、耕地和林地的变化是区域土地利用变化的核心;并且主要是由未利用地向耕地和林地的转化以及林地向耕地的转化。因此,耕地和林地变化机制的分析是区域土地利用变化机制的切入点。

### 4.1 耕地变化的驱动因素分析

1982—2003 年,研究区人口由  $1.73 \times 10^5$  人增至  $2.27 \times 10^5$  人;相应地,同期耕地增加 132.27%;未利用地对耕地变化的贡献率 44.53%,其次是林地,林地对耕地变化的贡献率 28.48%,对研究区 20 a 的耕地变化数据和人口变化数据在 SPSS 软件中进行曲线拟合,得到以下二次曲线方程关系式:

$$y = 1034.12 - 130.07x + 4.7328x^2$$

$$R^2 = 0.988 \quad (11)$$

式中:  $y$  —— 历年耕地面积;  $x$  —— 历年人口总数。说明在自然环境较差、生产技术水平相对落后的情况下,研究区急剧增长的人口及相应增加的粮食需求造成该地区垦殖活动不断扩大,造成未利用地的急剧减少,同时大量毁林开荒,以换取耕地的增加。因此,人口的增长是研究区 20 a 来耕地剧增,进而引起未利用地、林地等系列土地利用变化的根本原因。

2003 年研究区人均国内生产总值是 1471 元,远远低于同期全国和云南省的人均国内生产总值的平均水平,属于典型的经济贫困区;同时从经济结构看,2003 年,全流域国内生产总值  $3.34 \times 10^8$  元,而农业的产值  $2.27 \times 10^8$  元,占总产值的 67.96%,故研究区属于典型的农业区。对研究区 20 a 来耕地和区域国内生产总值、农业生产总值在 SPSS 软件中进行相关分析,耕地与区域国内生产总值、农业生产总值在 0.01 的显著水平上的相关系数为 0.782, 0.855。

因此,研究区的经济活动主要与耕地密切相关,耕地是维系当地人民生存的重要经济来源,生存型经济<sup>[18]</sup>发展主要表现为以扩大耕地面积为主要特点。

### 4.2 林地变化的驱动因素分析

20 a 来,区域林地减少 0.37%,其变化主要是向耕地转化,有  $124.29 \text{ km}^2$  转为耕地,但同时又有  $131 \text{ km}^2$  未利用土地转为林地,其贡献率达 46.12%;从时间变化过程来看,对区域历年林地数量的统计分析表明,区域林地在 80 年代急剧减少,90 年代以后又有所增加。

80 年代中期以来,粮食价格受国家政策的保护和烟草业在云南的大力发展,使得开荒种地的经济效益比较好,导致区内未利用土地和林地的减少,耕地增加;然而经过长期的过度开垦,脆弱的生态环境进一步恶化,区域水土流失、土地退化等十分严重,又由于处于珠江上游地区,对整个珠江流域的生态环境带来严重的影响。因此,该地区在 90 年代后受到国家及云南省政府的高度关注,特别是“珠防工程”的实施,该地区的退耕还林、还草等生态保护措施得到加强,导致未利用土地、耕地向林地的转变,森林覆盖率达到 27.47%,区域生态环境逐渐恢复。

另外,区域园地的变化主要受土地利用比较利益的驱动,由于单纯的种植业效益比较低,烟草业在 1990 年以后受到控制,而果园的发展能够带来更大的收益,因此,区域园地的面积得到扩大,成为云南省重要的高原梨生产基地。

综上所述,区域土地利用变化同时受到消费需求、经济利益和理智决策的驱动,其中消费需求是最根本的驱动力。

## 5 结 论

(1) 1982—2003 年,小江流域  $610.12 \text{ km}^2$  土地利用类型发生了变化,占全流域面积的 59%;土地利用变化主要表现为未利用土地向耕地和林地的转化以及林地向耕地的转化,三者变化面积为  $475.29 \text{ km}^2$ ,占全流域土地利用变化面积的 77.9%;区域土

地利用的综合土地利用动态度为 2.95%; 土地利用空间格局的基本构型以大斑块为主体, 散布型斑块镶嵌其中转变为以中等斑块为主体, 散布型斑块镶嵌其中的构型, 表现在土地利用的空间格局指数值的变化上, 其中破碎度指数增大了 84.6%, 多样性指数增加了 4.14%, 均匀度指数增加了 4.14%, 而优势度指数降低了 1.6%; 未利用地、林地的分离度分别增加了 114.58% 和 69.64%, 而耕地的分离度减少 45.86%; 流域耕地、建设用地的重心向东北方向偏移, 迁移距离为 0.222 km 和 0.436 km, 而未利用地、林地的重心向东南、和南西方向偏移。迁移距离为 2.08 km 和 1.338 km。

(2) 20a 来, 人口剧增造成的消费需求是区域耕地增加, 进而导致系列土地利用变化的根本原因, 单一的产业结构维系的生存型经济发展与耕地增加密切相关; 理智的生态环境保护政策和土地利用的比较利益也是区域土地利用变化的重要驱动力。

(3) 人口增长和消费需求及其造成的不合理土地利用变化是我国南方岩溶地区的生存环境恶化的根本原因。作者认为, 该地区及我国南方岩溶地区一方面应该严格控制人口的增长, 另一方面, 通过政策倾斜并引进资金和技术, 大力开发旅游资源, 促进第二、三产业的发展, 对区域产业结构进行大力调整, 同时提高农业生产的集约化程度, 尽量减少农业对土地资源造成的直接压力, 使区域土地资源走上可持续发展的道路。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 李秀彬. 全球环境变化的核心领域——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—557.
- [ 2 ] Lambin E F, Baulies X, Bockstael N, et al. Land-use and Land-cover Change, implementation Strategy [ R ]. IGBP Report NO. 48, IHDP Report NO. 10. Stockholm; IGBP, 1999.
- [ 3 ] 史培军, 陈晋, 潘耀忠. 深圳土地利用变化机制分析[J]. 地理学报, 2000, 55(2): 151—160.
- [ 4 ] Lambin E F. Modeling and monitoring land-cover change processes in tropical regions [ J ]. Progress in Physical Geography, 1997, 21(3): 375—393.
- [ 5 ] Jacqueline Geoghengan, Sergio CORTINA Villar, Peter Klepeis, et al. Modeling tropical deforestation in the southern Yucatan peninsular region: comparing survey and satellite data [ J ]. Agriculture, Ecosystem and Environment, 2001, 85: 25—46.
- [ 6 ] Laura C Schneider, R Gil Pontius Jr. Modeling land-use change in the Ipswich watershed, Massachusetts, USA [ J ]. Agriculture, Ecosystem and environment, 2001, 85: 83—94.
- [ 7 ] Robert K Kaufmann, Karen C Seto. Change detection, accuracy, and bias in a sequential analysis of Landsat imagery in the Pearl River Delta, China: econometric techniques [ J ]. Agriculture, Cosystem and Environment, 2001, 85: 95—104.
- [ 8 ] 刘盛和, 吴传钧, 沈洪泉. 基于 GIS 的北京城市土地利用扩展模式[J]. 地理学报, 2000, 55(4): 407—416.
- [ 9 ] 何春阳, 史培军, 陈晋等. 北京地区土地利用/土地覆被变化研究[J]. 地理研究, 2001, 20(6): 679—687.
- [ 10 ] 陈浮, 陈刚, 包浩生, 等. 城市边缘区土地利用变化的人文驱动力机制研究[J]. 自然资源学报, 2001, 16(3): 204—210.
- [ 11 ] 袁道先. 我国西南岩溶石山的环境地质问题 [ J ]. 大自然探索, 1996, 15(4): 21—23.
- [ 12 ] Jenson J Q, Cowen D. Principles of change Detection Using Digital Remote Sensor Data. Integration of GIS and Remote Sensing [ M ]. Cambridge: Cambridge University Press, 1997, 1—25.
- [ 13 ] 刘盛和, 何书金. 土地利用动态变化的空间分析测算模型 [ J ]. 自然资源学报, 2002, 17(5): 533—541.
- [ 14 ] 刘纪远. 中国资源环境遥感宏观调查与动态研究 [ M ]. 北京: 中国科学技术出版社, 1996. 158—188.
- [ 15 ] Turnered M G. Quantitative Methods in Landscape Ecology [ M ]. New York: springer-verlag, 1991, 35—41.
- [ 16 ] 陈利顶, 傅伯杰. 黄河三角洲地区人类活动对景观结构的影响分析 [ J ]. 生态学报, 1996, 16(4): 337—344.
- [ 17 ] 王秀兰, 包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨 [ J ]. 地理科学进展, 1999, 18(1): 81—187.
- [ 18 ] 李平, 李秀彬, 刘学军. 我国现阶段土地利用变化驱动力的宏观分析 [ J ]. 地理研究, 2001, 20(2): 129—138.