

喀斯特生态脆弱区猫跳河流域土地利用 / 覆被变化研究

彭建¹, 蔡运龙^{2, 3}, 何钢^{2, 3}, 王文博^{2, 3}, 黄秋昊^{2, 3}, 严汾^{2, 3}

(1 中央民族大学管理学院, 北京 100081; 2 北京大学环境学院资源与环境地理学系, 北京 100871;

3. 教育部地表过程与模拟重点实验室, 北京 100871)

摘 要: LUCC 是当前国际全球变化研究的前沿和热点领域, 喀斯特生态脆弱区的土地利用 / 覆被变化是国际 LUCC 研究中的薄弱环节。以贵州中部的典型喀斯特流域——猫跳河流域为例, 通过详实的地面调查, 以 1973 年的 Landsat- MSS 影像、1990 年和 2002 年的 Landsat- TM 影像为数据源, 在 RS、GIS、GPS 为核心的“三 S”集成技术支撑下, 应用单一土地利用动态度、单一土地利用转入率和转出率、综合土地利用动态度、土地利用度以及土地覆被变化空间指数等指标, 定量研究了该流域在过去 30 a 间的土地利用 / 覆被的变化特征。研究表明: (1) 研究区的土地覆被类型主要以耕地、灌草地、灌木林以及有林地为主; (2) 1970 年代以来, 土地利用 / 覆被变化剧烈, 各地类之间的变化幅度存在较大差别, 水田、灌木林、其他林地、灌草地等地类先减后增, 旱地和裸岩地先增后减, 有林地、水域、城镇建设用地、农村居民点、交通工矿用地等持续增加; 1973~ 1990 年的土地利用动态度和土地利用度均比 1990~ 2002 年大, 前一时期的裸岩地明显增加, 土地利用具有明显的不可持续性, 进入 1990 年后, 裸岩地缩减, 流域生态环境质量趋于好转; 伴随着分布面积在平面空间上的张缩, 各地类的平均分布高程和坡度在垂直方向上也出现了相应的变化。

关键词: 喀斯特; 土地利用 / 覆被变化; 三“S”技术; 猫跳河流域

中图分类号: X171.1 X37

文献标识码: A

喀斯特地区生态系统变异敏感度高, 灾变承受能力低, 环境容量小, 是典型的生态环境脆弱地区^[1]。西南喀斯特地区是我国五大生态脆弱区之一^[2], 在过去数十年间, 土地资源的不合理利用导致了以石漠化为代表的一系列严重的生态环境问题^[3, 4]。针对这些问题, 学术界开展了广泛的研究。其中, 对于喀斯特石漠化的内涵、空间分布特征、形成原因等的研究较为集中^[5- 15]。鉴于土地利用 / 覆被变化和石漠化形成演变之间的内在关联性, 以土地利用 / 覆被变化作为切入点开展研究无疑具有更加直接的现实意义, 也将更加有助于揭示区域土地利用变化和喀斯特生态环境问题形成、演变之间的动态关联。土地利用 / 覆被变化是当前全球变化研

究的热点和前沿领域^[16- 18], 不同地区的土地利用 / 覆被变化对全球变化的贡献和响应并不相同, 区域尺度的 LUCC 研究应集中在那些“关键地区”、“脆弱地区”以及“热点地区”^[18]。尽管当前国际 LUCC 研究已开始出现从区域尺度的案例研究到全球尺度的整合研究的趋势^[19], 但区域尺度的 LUCC 案例研究并未就此画上圆满的句号, 相反, 还有一些生态意义重大、环境问题严重的区域没有得到足够的重视。对地理学而言, 在独特的自然地理区域展开对独特问题的综合自然地理研究, 有“地利”之便, 往往能作出独特的创新成果^[20]。喀斯特地区生态环境高度脆弱, 土地利用 / 覆被变化剧烈, 无疑应成为 LUCC 研究的热点地区。但遗憾的是, 由于种种原

收稿日期 (Received date): 2006- 06- 15; 改回日期 (Accepted): 2006- 11- 21。

基金项目 (Foundation item): 国家自然科学基金重点项目阶段成果 (项目编号: 40335046) [Key Project of National Natural Sciences Foundation of China No. 40335046]

作者简介 (Biography): 彭建 (1975-), 男, 博士, 讲师, 主要从事土地科学和旅游地理研究 [Peng Jian, male, doctor, lecturer, studying land science and tourism geography, email pengkars75@ yahoo. com. cn]

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

因, 在全球范围内, 喀斯特地区土地利用 / 覆被变化过程及其动因和资源、生态、环境效应的系统研究并不多见。

1 研究区概况

猫跳河流域地处中国西南的贵州省中部地区(图 1), 是长江的一级支流, 流域总面积约 $3\,116\text{ km}^2$, 盛行亚热带高原季风气候, 多年平均气温 $14\sim 15\text{ }^{\circ}\text{C}$, 年降水量一般介于 $1\,100\sim 1\,400\text{ mm}$ 。整个流域由两大部分构成: 红枫湖以上的高原区和以下的峡谷区。新中国成立后, 为了开发猫跳河蕴藏的丰富水能资源, 先后修建了红枫湖电站、百花湖电站、李官电站、修文电站、窄口巷电站、红林电站以及红岩电站等 6 个梯级电站, 并因此而形成了红枫湖、百花湖两个大型的人工湖泊。地带性植被为亚热带常绿阔叶林, 由于长期人类干扰和破坏, 流域内的原生植被早已破坏殆尽。地带性土壤为黄壤, 由于流域内碳酸盐岩大面积出露, 各种石灰土广泛分布。20 世纪 70 年代初, 全流域人口不足 65 万, 到 2002 年, 增加到 112 万, 人口密度 374 人 / km^2 , 给流域的资源、环境、生态造成了较大的压力。改革开放以前, 猫跳河流域经济结构单一, 农业在国民经济中占据绝对优势。改革开放以来, 经济发展速度明显加快, 由单一的农业经济发展成为农、工、商、建、运、

服等各行业综合发展的经济结构, 农业在国民生产总值中的比例逐渐下降, 工业和第三产业稳步上升。由于流域内蕴藏着丰富的矿产资源, 采掘业在工业结构中具有重要地位, 尤其是清镇和修文两县市的铝土矿开采规模较大, 并在一定程度上影响到流域土地覆被状况。1970 年代以来, 交通条件得到了较大的改善, 已形成了较为完善的、覆盖面较广的公路运输网络。

2 方法与数据

2.1 土地覆被分类

采用中科院资源环境信息数据库的 6 大类分类法, 把研究区的土地覆被分为耕地、有林地、灌草地、水域、建设用地以及难利用地等 6 个一级地类。然后, 结合猫跳河流域的地面特征和影像分辨率, 细分出 11 个二级地类(表 1)。

2.2 数据

采用 1973 年的 Landsat-MSS 影像、1990 和 2002 年的 Landsat-TM 影像来分别获取这三个时期的土地覆被信息。根据猫跳河流域地物的光谱特征, 采用 4、3、2 波段合成假彩色影像能较好地地区分不同的土地覆被类型。以事先经过地理配准的 1:50 000 地形图作为参照, 通过最邻近点插值法对原始影像进行重采样, 实现影像的几何精纠正, 误

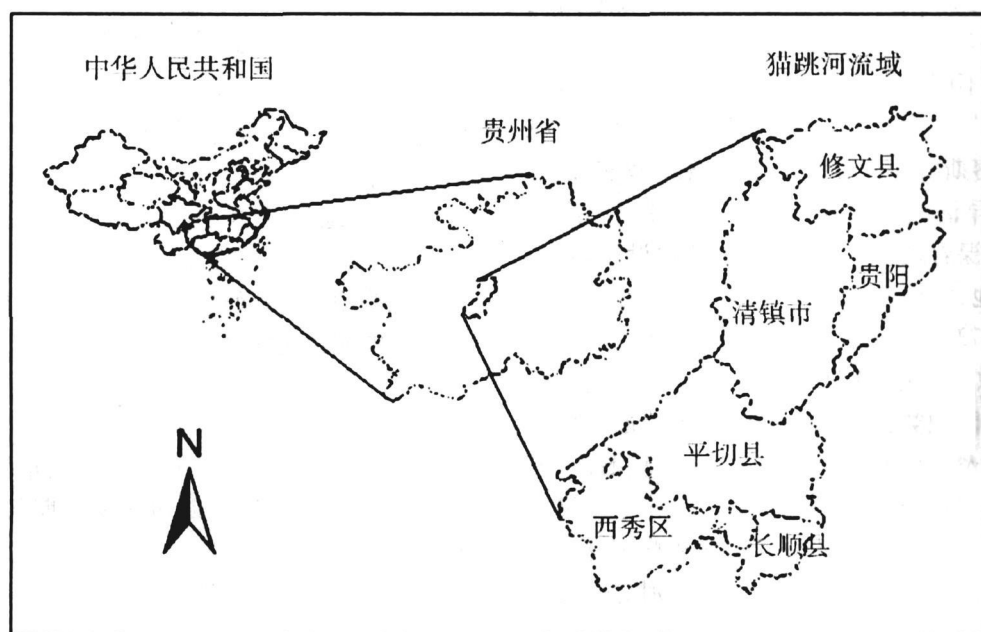


图 1 猫跳河流域区位示意图

表 1 猫跳河流域土地覆被分类系统
Table 1 Land cover classification for Maotiaohe river basin

一级地类		二级地类		特征
编号	名称	编号	名称	
1	耕地	11	水田	主要指用于种植水稻的耕地
		12	旱地	水田以外的一切耕地
2	林地	21	有林地	郁闭度 > 30% 的天然林和人工林等成片的林地
		22	灌木林	郁闭度 > 40%, 高度在 2 m 以下的矮林地和灌丛林地
		24	其他林地	主要是面积比较集中连片的茶园
3	草地	30	草地	以生长草本植物为主, 覆盖度在 50% 以上的各类草地, 包括以木本为主的灌丛草地和郁闭度在 10% 以下的疏林草地
4	水域	40	水域	天然陆地水域 (湖泊和水库) 用地
5	城乡、工矿、居民用地	51	城镇建设用地	大、中、小城市及县镇以上建成区用地
		52	农村居民点	农村居民点, 主要是一些较大的村寨和农村集镇
		53	交通工矿及其他建设用地	独立于城镇以外的厂矿、大型工业区、采石场等用地、交通道路、机场及特殊用地
6	未利用土地	60	石质荒山	喀斯特石质丘陵, 基岩裸露面积 > 50%, 坡度一般 > 30°, 上有稀疏灌草, 长期处于未利用状态

差控制在 0.5 个象元内。然后, 以经过几何精纠正的 2002 年影像为基础, 对 1990 年的影像进行精确的几何匹配。

先对 2002 年的影像进行解译, 然后将解译结果与 1990 和 1973 年的影像叠加, 提取并修改变化图斑。针对猫跳河流域地形崎岖破碎、地表覆被复杂的特点, 借助 GPS, 到研究区进行实地考察, 并建立遥感解译标志, 经过 2004-04 和 07 的两次地面调查, 共建立 147 个解译标志点; 再次, 以 Arcgis8.3 为支撑, 对流域不同时期的遥感影像进行了人工目视解译, 分别得到三个时期的土地覆被图。由于猫跳河流域地处喀斯特地貌发育区, 混合象元较多, 同谱异物和同物异谱的情况较多 (主要是耕地和灌草地, 灌草地和裸岩地, 工矿用地和城镇建设用地, 灌木林和有林地, 山地耕地和平地耕地), 加之遥感时相不一致 (1973 年的 MSS 影像为 12 月 31 日, 1990 年的 TM 影像为 6 月 10 日, 2002 年的 TM 影像为 8 月 31 日), 相同地类在不同时期的光谱特征差异较大, 通过选用人工目视解译法, 可以较好地保证解译精度。解译比例尺统一为 1: 10 万, 该比例尺下图上面积 < 2 mm × 2 mm 的地类斑块忽略不计。在 Erdas 平台下, 运用其精度评估模块, 分别对这三个时期的土地覆被数据解译结果进行评价, Kappa 指数分别为 0.81、0.86、0.88, 解译精度符合要求。由于 MSS 影像分辨率为 57 m, 为了提高解译精

度, 运用研究区 1973 年航摄、1975 年调绘的 1: 5 万地形图中丰富的土地覆被信息辅助解译。

2.3 研究方法

2.3.1 土地利用覆被转移矩阵

在 Arcgis 平台下, 运用地图代数的方法, 提取研究区 1973~ 1990 年以及 1990~ 2002 年两个时期的土地覆被转移矩阵。公式如下

$$C_{ij} = M_{ij}^k \times 20 - M_{ij}^{k+1}$$

式中 C_{ij} 为 k 时期到 $k+1$ 时期的土地覆被变化图中第 i 行 j 列新象元的值, M_{ij}^k 为 k 时期的土地覆被图中第 i 行 j 列的像元值, M_{ij}^{k+1} 为 $k+1$ 时期的土地覆被图第 i 行 j 列的像元值。

2.3.2 土地利用覆被变化度量

1. 单一土地利用变化率

主要用来描述研究区某一土地利用类型在某一时期内的变化速率, 数学计算公式如下^[21]

$$U = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\%$$

式中 U 为某一土地利用类型在时间 T 内的变化速率; U_b 、 U_a 分别为研究期初期及末期某种土地利用类型的面积; T 为研究时段长。当 T 设定为年时, K 为研究时段内某一土地利用类的年变化率。

2. 单一土地利用转出率和转入率

某一土地利用类型数量的变化是在研究期内转入和转出综合作用的结果, 单一土地利用变化率仅

能反映该土地利用类型在研究期初和期末的数量变化,不能揭示期间土地利用转入和转出的情况。考虑到这种转入和转出的变化是土地覆被变化研究需要重点关注的内容,引入单一土地利用转出率和转入率来描述这种变化。单一土地利用转出率主要反映某一土地利用类型在某一时期内转化为其他地类的幅度,单一土地利用转入率主要反映某一土地利用类型在某一时期内由其他地类转化而来的幅度,计算公式如下

$$T_i = \frac{\sum_{j=1}^{n-1} T_{ij}}{L_{i0}} \times 100\%$$
$$M_i = \frac{\sum_{j=1}^{n-1} M_{ji}}{L_{ik}} \times 100\%$$

式中 T_i 为地类 i 在 t_0 到 t_k 时期内的土地利用转

出率; M_i 为地类 i 在 t_0 到 t_k 时期内的土地利用转入率; T_{ij} 为在 t_0 到 t_k 时期内地类 i 转化为地类 j 的面积; M_{ij} 为在 t_0 到 t_k 时期内由地类 j 转化为地类 i 的面积; L_{i0} 是地类 i 在 t_0 时刻的面积; L_{ik} 是地类 i 在 t_k 时刻的面积; n 为研究区土地利用类型数量。

3. 综合土地利用动态度

主要用以反映某一研究时段内,研究区的各种地类动态变化的总体情况,该值越大,说明研究区土地利用动态变化越剧烈,反之,越弱。计算公式如下^[22]

$$LC = \left[\frac{\sum_{j=1}^{n-1} \Delta LU_{ij}}{\sum_{j=1}^{n-1} LU_i} \right] \times \frac{1}{T} \times 100\%$$

表 2 猫跳河流域土地利用强度分级表^[23]

Table 2 Land use degree classification for Maotiaohe river basin

级别	未利用土地级	林、草、水用地级	农业用地级	城镇聚落用地级
土地利用类型	未利用地或难利用地	林、灌、草、水域	水田、旱地	城镇、农村居民点、 交通、工矿用地
指数	1	2	3	4

式中 LU_i 为监测起始时间第 i 类土地利用类型面积; LU_i 为监测时段第 i 类土地利用类型转为非 i 类土地利用类型面积的绝对值; T 为监测时段长度,当 T 设定为年时, LC 的值就是该研究区土地利用的年变化率。

4. 土地利用度

主要用以反映研究区人类开发利用土地的程度。其基本思想是把研究区的各种土地利用类型按照利用程度分为 4 级(表 2)。通过每级土地利用类型在研究区中所占的百分比乘以其分级指数进行加权求和,最后得到研究区的土地利用度。计算公式如下^[23]

$$LUD = \sum_{i=1}^n L_i \times A_i$$

式中 LUD 是研究区的土地利用度; L_i 是区域内第 i 类土地利用类型的土地利用强度分级指数; A_i 是第 i 类土地利用类型在区域内的百分比。

5. 土地覆被分布空间变化指数

土地覆被分布高程变化指数用以描述在研究时段内,某一土地覆被类型平均分布高程的变化幅度。该指数若为正值,说明某一地类的平均分布高程增

加。计算公式如下

$$\Delta H_i = H_{ik} - H_{i0}$$
$$\Delta S_i = S_{ik} - S_{i0}$$

式中 ΔH_i 是第 i 种地类在研究时期内的平均高程变化值; H_{i0} 是第 i 种地类在研究时段初期 (t_0) 的平均海拔分布; H_{ik} 是第 i 种地类在研究时段末期 (t_k) 的平均海拔分布; ΔS_i 是第 i 种地类在研究时期内的平均坡度变化值; S_{i0} 是第 i 种地类在研究时段初期 (t_0) 的平均海拔分布坡度; S_{ik} 是第 i 种地类在研究时段末期 (t_k) 的平均海拔分布坡度; 该指数可通过 Arcgis 中的区块统计 (Zonal Statistic) 分析功能计算。

3 结果分析

3.1 1973~1990 年的土地利用 覆被变化

1. 水田缩减,旱地大幅扩张,耕地总量增加

17 a 间,猫跳河流域的耕地面积由 127 583 88 hm^2 增加到 143 493 75 hm^2 ,净增 15 909 87 hm^2 (图 2),耕地占流域的面积比重也从 40.95% 提高到 46.04%。这一时期,降水量显著减少,流域中部

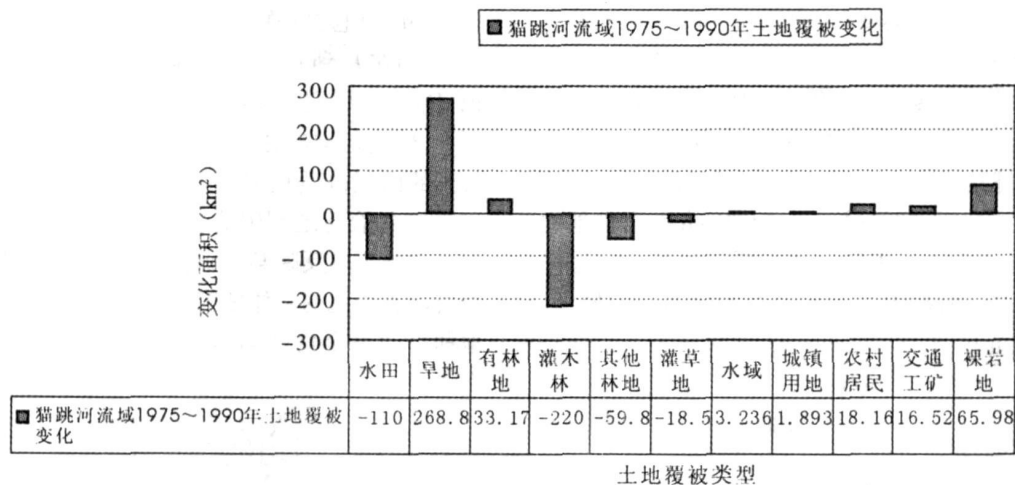


图 2 猫跳河流域 1973~1990年土地覆被变化

Fig 2 Land cover change from 1973 to 1990 in Maotiaohe river basin

的乌当区 1970~1980年的平均降水量为 1 233.8 mm, 而 1980~1990年的平均降水量减至 1 039.5 mm。伴随着降水量的减少, 水田明显缩减, 从 57 772.2 hm^2 减少到 46 801.15 hm^2 , 年减少速率为 -1.12% (表 3)。从面积来看, 约有 47.52% 的水田转化为其他地类。减少的水田主要是流向了旱地, 约有 16 736.80 hm^2 转化为旱地 (表 4); 其次为灌草地和灌木林, 分别达到 6 431.51 hm^2 和 1 200.52 hm^2 ; 此外, 由于建设占地, 约有 1 090 hm^2 的水田被城镇、农村居民点以及交通工矿用地所占用。这一期间, 流域总人口从 1973年的 50多万增加到 1990年的 90余万。由于人口的迅速增加, 毁林、毁草开荒较为普遍, 旱地大幅增加, 由 1973年的 69 811.68 hm^2 增加到 1990年的 96 692.6 hm^2 , 年平均增加速率为 2.26%。约有 63.66% 的旱地由其他地类转变而来, 其中以灌草地为主, 共约 29 707.45 hm^2 , 其次为水田, 约 16 736.8 hm^2 , 此外, 还有相当一部分由有林地、灌木林和其他林地 (主要是茶园) 转化而来, 共约 13 655.51 hm^2 。从土地覆被分布的平均海拔来看, 1973~1990年, 猫跳河流域的水田和旱地分布的平均海拔有所降低, 其中水田从 1 283.04 m 变为 1 281.11 m, 下降了 1.93 m, 旱地从 1 294.48 m 下降为 1 294.12 m, 降低了 0.36 m, 主要和流域下游的垦荒有关。伴随着分布海拔的下降, 耕地分布的坡度也有所下降, 其中水田从 6.61° 降为 6.33°, 旱地从 11.33° 降为 10.83°。

2. 林地、灌草地减少, 裸岩地扩张, 流域生态状况恶化

17 a 间, 林地面积从 83 532.50 hm^2 减少到 58 897.06 hm^2 。其中, 有林地从 22 897.9 hm^2 增加到 26 214.54 hm^2 , 净增 3 316.62 hm^2 , 年平均增速 0.85%, 林地的增加与我国森林法颁布较早和当地居民对经济价值较高的乔木林保护意识较强有关; 有 66.5% 的有林地是由其他地类转化而来, 主要是灌木林和灌草地, 分别约 9 479.16 hm^2 和 5 003.63 hm^2 ; 其次为耕地, 约 2 566.71 hm^2 。灌木林大幅减少, 减幅 21 973.74 hm^2 , 年平均减速 -2.43% (见表 3) 灌木林的减少和这一时期农村人口快速增加而导致的毁林、毁草开荒有关。约有 74.12% 的灌木林转化为其他地类, 主要是灌草地, 达 18 680.78 hm^2 , 其次为有林地, 约 9 479.16 hm^2 , 此外, 还有约 8 612.28 hm^2 转化为耕地。由于经营体制的转变 (1980年代中期, 从国有经营转变为个人承包经营), 以茶园为主的其他林地也发生了大幅减少, 从 1973年的 7 468.39 hm^2 减少为 1 492.42 hm^2 , 年平均减速 -4.71%。期间约有 89.52% 的茶园转化为别的地类, 主要流向了旱地、灌草地和灌木林。在海拔上, 有林地和灌木林分布的平均海拔均明显上升, 分别上升了 27.11 m 和 24.74 m; 茶园的海拔下降了 28.1 m。有林地的平均分布坡度变大, 增加了 0.74°, 而灌木林和茶园的分布坡度变得相对平缓, 分别变缓了 0.35° 和 2.1°。

灌草地总量略有减少, 但流入和流出变化较大。1973年, 猫跳河流域有灌草地共计 83 955.38 hm^2 , 而到 1990年, 减少为 82 101.85 hm^2 , 年平均减速 -0.13%。有 64.26% 的灌草地转化为其他地类,

同时也有 63 45 % 的其他地类转化为灌草地。灌草地的流向主要是水田和旱地, 共计约 34 242 06 hm^2 ; 其次为林地, 约有 12 586 95 hm^2 。裸岩地约 5 468 9 hm^2 , 建设用地 1 149 42 hm^2 。在转入方面, 以耕地和林地为主, 少数由裸岩地转入。灌草地的平均分布海拔从 1 339 15 m 降为 1 317. 47 m, 降低了 21. 7 m, 说明灌草地向低海拔地区扩张; 在分布坡度方面, 从 14 98°上升到 16 23°, 说明灌草地趋

向于分布在坡度较陡的地, 主要是由中下游峡谷地区灌草地增多所致。

裸岩地是喀斯特地区植被被破坏后, 下伏基岩裸露地表后形成的一种严重石质荒漠化土地, 是生态环境破坏的恶果。1973 至 1990 年间, 裸岩地明显扩张, 从 7 915 92 hm^2 增加到 14 513 97 hm^2 , 扩展速度平均每年约 4 9 %, 裸岩地的增加主要是农村地区陡坡毁林、毁草开荒的结果。增加的裸岩地

表 3 猫跳河流域 1973~ 2002 年土地利用动态度

Table 3 Land use change velocity between 1973 and 1990 in M aotiaohe river basin

土地覆 被类型	单一土地利用动态度		单一土地利用转出率		单一土地利用转入率	
	1973~ 1990	1990~ 2002	1973~ 1990	1990~ 2002	1973~ 1990	1990~ 2002
水田	- 1 12	1 10	47 52	17 00	35 22	26 68
旱地	2 26	- 2 63	49 66	44 35	63 66	18 63
有林地	0 85	3 15	61 64	6 77	66 50	32 28
灌木林	- 2 43	0 61	74 12	46 10	55 88	49 74
其他林地	- 4 71	- 0 02	89 52	39 79	47 56	39 66
灌草地	- 0 13	1 05	64 26	33 93	63 45	41 30
水域	0 30	1 84	20 41	0 88	24 26	18 78
城镇建设用地	3 76	14 83	23 81	0 00	53 50	64 02
农村居民点	8 14	7 04	56 92	1 01	81 93	46 33
交通工矿用地	16 78	5 57	26 77	5 45	80 99	43 30
裸岩地	4 90	- 2 60	40 59	39 85	67 60	12 61

表 4 猫跳河流域 1973~ 1990 年土地覆被变化转移矩阵 (单位: hm^2)

Table 4 land cover conversion matrix from 1973 to 1990 in M aotiaohe river basin (unit hm^2)

土地覆 被类型	水田	旱地	有林地	灌木林	其他 林地	灌草地	水域	城镇 用地	农村居 民点	交通工 矿用地	裸岩地	1990 年 合计
水田	30 318. 64	9 100 59	659 62	945. 35	342. 40	4 534. 61	301 26	44 35	187 09	25 54	341. 70	4 6801. 15
旱地	16 736. 80	35 141 35	2 811 03	7 666 93	3 177 55	29 707. 45	410 56	5 09	253 30	22 00	760. 54	96 692 60
有林地	811 95	1 754 76	8 783 00	9 479 16	360. 73	5 003. 63	16 25	0 00	3 07	0 00	1. 99	26 214. 54
灌木林	1 200. 52	2 448 75	4 841 09	13 760 99	1 036 17	7 387. 92	94 35	0 00	39 76	1 29	379. 26	31 190. 10
其他林地	95 03	249 39	84 13	69 96	782. 65	195. 40	7. 62	0 00	5 56	2 68	0 00	1 492 42
灌草地	6 431. 51	17 593 18	5 422 25	18 680 78	1 576 47	30 006. 19	458 10	3 90	201 78	76 04	1 651 65	82 101. 85
水域	285 63	305 76	98 14	313. 86	107. 45	501. 86	5 063. 48	0 00	2 25	0 00	6 78	6 685. 21
城镇建 设用地	57 59	183 17	0 00	2 63	1. 36	12 08	0 00	225 88	3 02	0 00	0 00	485. 73
农村居民点	741 70	1 046 96	41 97	111. 57	43. 79	508. 75	1. 11	0 00	565 32	17 87	49. 02	3 128 06
交通工 矿用地	292 67	638 01	15 25	154. 94	4 35	628. 59	0 90	17 24	32 60	424 19	22 43	2 231. 17
裸岩地	800 16	1 349 76	141 44	1 979 67	35. 47	5 468. 90	8 02	0 00	18 37	9 63	4 702 55	14 513 97
1973 年 合计	57 772 20	69 811 68	22 897 92	53 165 84	7 468 39	83 955 38	6 361 65	296 46	1 312 12	579 24	7 915 92	311 536 8

主要由灌草地转化而来,约 5 468 9 hm^2 。其次为耕地,约 2 149 92 hm^2 。同时,灌木林也是裸岩地的主要来源之一,约有 1 979 67 hm^2 转化为裸岩地。裸岩地的平均分布高程从 1 341. 62 m 上升到 1 359. 34 m,说明高海拔地区石漠化的形势在加剧;同时,裸岩地分布的坡度从 25. 99°下降到 22. 60°,说明一些坡度偏缓的地区开始出现石漠化,整个流域的生态环境状况恶化。

3. 建设用地和水域稳步增长

受经济发展和固定资产投资增加的影响,建设用地挤占耕地,增加的速度明显快于其他地类,其中以工矿用地增加的速度最快,其次为农村居民点和城镇建设用地,年平均增速分别为 16. 78 %、8. 14 % 和 3. 76 %。从总量来看,1973年流域建设用地面积仅为 2 187. 82 hm^2 ,到 1990年,迅速增加到 5 844. 96 hm^2 ,增加了 1. 67倍。其中,城镇建设用地从 296. 46 hm^2 增加到 485. 73 hm^2 ,农村居民点用地从 1 312. 12 hm^2 增加到 3 128. 06 hm^2 ,而交通工矿建设用地则从 579. 24 hm^2 增加到 2 231. 17 hm^2 。增加的建设用地主要由耕地和灌草地转化而来。

尽管这一时期降水量呈现减少的态势,但由于加强农田灌溉设施建设,小水库增多,水域面积呈扩大趋势,但增速较慢,年平均增速为 0. 3 %。1973年水域面积为 6 361. 65 hm^2 ,到 1990年增加到 6 685. 21 hm^2 。期间约有 24. 26 % 的水域由其他地类转化而来,主要是水田、旱地以及灌草地和灌木林。水域的平均分布高程有所下降,从 1 233. 55 m 下

降到 1 231. 22 m, 平均坡度从 3. 33°增加到 4. 55°。

总体来看,从 1970年代初到 1980年代末,耕地、灌草地和灌木林是猫跳河流域的优势地类,不同的土地覆被类型之间发生了较频繁的转移,土地利用强度加大,土地利用度从 2. 40增至 2. 45,期间综合土地利用动态度 26. 18 %。

3.2 1990~ 2002年的土地利用 覆被变化

1. 耕地总量减少,水域持续增长

进入 1990年代以后,农民外出务工热潮兴起,大量农村青壮年劳动力流向城市,耕地 (主要是旱地) 撂荒现象严重,耕地明显减少。2002年,全流域有耕地面积 119 151. 30 hm^2 ,比 1990年减少了 24 403 hm^2 (图 3),减幅达 21. 3 %。水田从 46 808. 67 hm^2 增加到 52 988. 22 hm^2 ,年平均增速 1. 1 % (见表 3);有 26. 68 % 是由其他地类转化而来,增加的水田主要来自旱地,约 10 954. 39 hm^2 ,其次为灌草地,共计 2 772. 48 hm^2 (表 5)。旱地大幅减少,从 96 745. 61 hm^2 减少到 66 163. 07 hm^2 ,减幅达 32. 6 %,年平均减速 - 2. 26 %。12 a间,有 44. 35 % 的旱地转化其他地类,减少的旱地除了相当一部分转化为水田外,主要转化为灌草地,多达 24 738. 31 hm^2 ,约有 3 738. 57 hm^2 转化为灌木林。耕地平均分布高度有所上升,其中水田从 1 281. 11 m 上升到 1 285. 96 m,旱地从 1 294. 12 m 上升到 1 294. 71 m,说明耕地的分布有增高趋势。平均坡度变化不大,变幅均在 0. 4°以内,其中水田有所变陡,而旱地则稍显变缓。

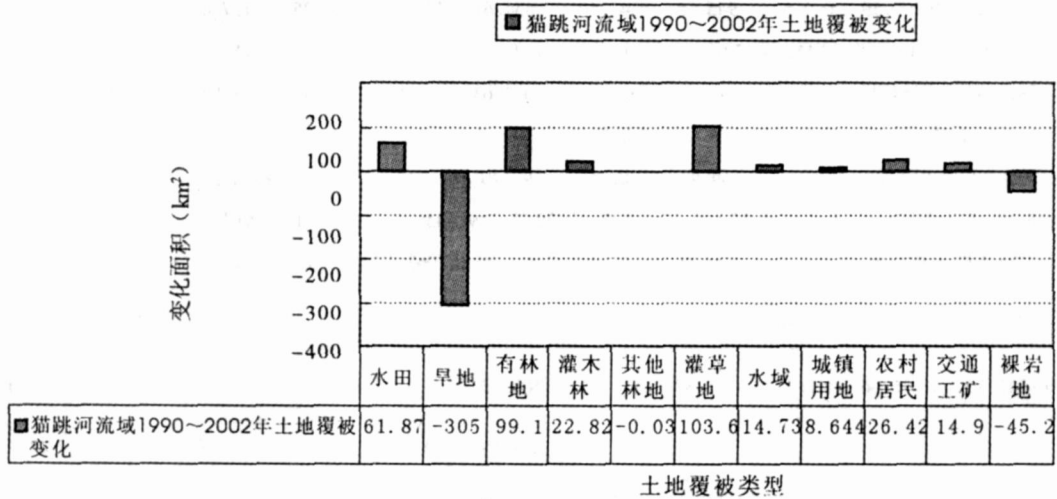


图 3 猫跳河流域 1990~ 2002年土地覆被变化

Fig 3 Land cover change from 1990 to 2002 in Maotiaohe river basin

这一时期, 流域的降水量出现显著回升, 1990~2000 年的年平均降水量为 1 229.9 mm (据乌当气象站观测资料统计)。虽然小水库没什么增加, 但受此影响, 水域仍继续保持增长, 从 1990 年的 6 685.21 hm² 增加到 2002 年的 8 158.06 hm², 增加 1 472.85 hm², 增幅 22%, 年平均增速 1.84%。水域变为其他地类的情况很少, 转出率仅为 0.88%, 增加的水域主要由耕地和灌草地转化而来, 分别约 898 hm² 和 583.23 hm²。水域分布的平均海拔增高, 从其 1990 年的 1 231.22 m 增高到 1 236 m, 分布坡度趋于变陡, 从 4.5° 增加到 4.97°。

2. 林地、灌草地全面增长, 裸岩地显著减少, 流域生态环境好转

进入 1990 年代后, 一方面森林保护的措施和力度更加严厉, 另一方面, 随着长江中上游水土保持重点防治工程和天然林保护工程等的实施, 林地的面积明显增加。1990 年, 猫跳河流域有林地面积 58 943.35 hm², 至 2002 年, 林地面积增加到 71 083.59 hm², 增加了 12 140.24 hm², 增幅达 20.6%。其中, 有林地面积持续增加, 从 1990 年的 26 239.5 hm² 增加到 2002 年的 36 124.34 hm²。增加的林地中 98 225.2 hm² 来自于灌木林, 其次是灌草地, 约 2 032.48 hm²。灌木林停止了减少的态势,

转而有所增加, 12 a 间约增加了 2 260.43 hm², 主要来自灌草地、耕地和有林地, 分别为 10 674.28 hm²、4 666.18 hm² 和 932.39 hm², 此外, 有少量是来自于裸岩地, 约 369.19 hm²。有林地和灌木林分布的海拔均变低。在分布坡度上, 有林地增加了 1° 左右, 而灌木林则趋于变缓, 平均坡度降低了 1.31°。

由于耕地的撂荒, 灌草地有所增加。从 1990 年的 82 145.52 hm² 增加到 2002 年的 92 464.24 hm², 每年平均增速 1.05%。约有 41.3% 的灌草地是由其他地类转化而来, 增加的灌草地主要来自于旱地; 其次为裸岩地, 约 4 811.82 hm²; 还有部分来自于灌木林和水田, 分别为 4 378.77 hm² 和 3 329.49 hm²; 少部分来自于有林地, 约 786.14 hm²。平均分布高程从 1 317.47 m 降低到 1 316.19 m, 平均坡度也从 16.23° 降低为 15.63°, 说明灌草地在这一时期趋于变低变缓。

3. 建设用地持续增加, 耕地挤占严重

进入 1990 年代后, 经济建设的步伐加快, 建设用地持续增加, 从 1990 年的 5 845.77 hm² 增至 2002 年的 10 841.64 hm², 增加了 4 995.87 hm², 增幅 85.5%。城镇建设用地、农村居民点和交通工矿建设用地均保持一致性的增长, 增幅分别为 178%、84.4% 和 66.8%。城镇建设用地是所有建设用地

表 5 猫跳河流域 1990~2002 年土地覆被变化转移矩阵 (单位: hm²)
Table 5 Land cover conversion matrix from 1990 to 2002 in Maotiaohe river basin (unit: hm²)

土地覆被类型	水田	旱地	有林地	灌木林	其他林地	灌草地	水域	城镇用地	农村居民点	交通工矿用地	裸岩地	2002 年合计
水田	38 850.17	10 954.39	5.83	195.25	124.38	2 772.48	14.39	0.00	0.03	17.97	53.33	52 988.22
旱地	1 211.88	53 838.57	3.92	142.11	379.07	10 005.84	20.23	0.00	0.91	9.93	550.61	66 163.07
有林地	110.04	286.95	24 463.50	9 225.20	0.00	2 032.48	6.17	0.00	0.00	0.00	0.00	36 124.34
灌木林	927.61	3 738.57	932.39	16 823.19	0.00	10 674.28	4.44	0.00	0.05	2.07	369.19	33 471.79
其他林地	42.24	368.49	1.63	0.61	898.67	174.87	0.42	0.00	2.33	0.00	0.00	1 489.26
灌草地	3 329.49	24 738.31	786.14	4 378.77	50.70	54 277.36	0.00	0.00	0.00	91.65	4 811.82	92 464.24
水域	355.01	542.99	0.00	50.67	0.00	583.23	6 626.16	0.00	0.00	0.00	0.00	8 158.06
城镇建设用地	624.37	177.14	0.00	0.00	0.00	34.60	0.00	485.74	28.31	0.00	0.00	1 350.16
农村居民点	923.26	1 172.51	14.34	146.35	31.36	381.21	3.58	0.00	3 096.91	0.00	0.62	5 770.14
交通工矿用地	424.59	549.60	31.75	67.83	7.50	529.50	0.00	0.00	0.00	2 109.87	0.70	3 721.34
裸岩地	10.01	378.09	0.00	181.38	0.81	679.67	9.82	0.00	0.00	0.00	8 732.06	9 991.84
1990 年合计	46 808.67	96 745.61	26 239.50	31 211.36	1 492.49	82 145.52	6 685.21	485.74	3 128.54	2 231.49	14 518.33	311 692.5

* 由于重采样, 导致流域总面积有所出入

中增加最快的,年增速高达 14.83%。主要是通过挤占水田和旱地而来。三种建设用地的分布一致地向高海拔地区扩张,城镇建设用地和农村居民点的平均分布坡度有所增加,但交通工矿用地则趋于减缓。

4. 裸岩地分布缩减,流域生态环境出现好转

这一时期,由于加强了区域生态环境的保护,随着退耕还林还草工程的实施,猫跳河流域的生态环境开始逐渐好转。裸岩地发生了显著减少,从 1990 年的 $14\,518.3\text{ hm}^2$ 减少到 2002 年的 $9\,991.84\text{ hm}^2$, 减少了 $4\,526.46\text{ hm}^2$, 减幅达 31.2%, 年平均减速 2.6%。约有 39.85% 的裸岩地转化为其他地类。减少的裸岩地主要是转变为灌草地,面积达 $4\,811.82\text{ hm}^2$, 其次为旱地和灌木林,分别为 550.61 hm^2 和 369.19 hm^2 。1990 年,裸岩地的平均分布高度为 $1\,359.34\text{ m}$, 到 2002 年降低到 $1\,350.91\text{ m}$; 分布坡度趋于变陡,从 22.60° 增加到 24.78° 。

总的来看,在土地覆被格局方面,这一时期除了原有的耕地、灌草地、灌木林等地类仍占优势外,有林地占流域的面积比重也突破 10%, 并超过灌木林成为除耕地、灌草地以外的第三大优势地类。土地利用变化速率较前一时期下降,土地利用程度也有所减弱,从 1990 年的 2.45% 下降到 2002 年的 2.42%, 土地利用动态度从 26.18% 下降到 22.54%。

4 结论与讨论

1. 1970 年代初以来,猫跳河流域土地利用/覆被发生了比较剧烈的变化。从绝对数量上来看,1973~1990 年,变化幅度从大到小依次是旱地>灌木林>水田>裸岩地>其他林地>有林地>灌草地>农村居民点>交通工矿用地>水域>城镇建设用地;1990~2002 年则为旱地>灌草地>有林地>水田>裸岩地>农村居民点>灌木林>水域>交通工矿用地>城镇建设用地>其他林地。

2. 猫跳河流域土地利用/覆被变化可分为三种类型,即先减后增型、先增后减型、持续增加型。其中,水田、灌木林、其他林地、灌草地等地类属于先减后增型;有林地、水域、城镇建设用地、农村居民点、交通工矿用地等地类属于持续增加型。

3. 在 1990 年前后的两个时期,土地覆被变化的强度差异较大。1973~1990 年,猫跳河流域的土

地利用度为 2.45%, 平均单一土地利用动态度和综合土地利用动态度分别为 4.13% 和 26.18%, 单一土地利用平均转出率和转入率分别为 50.47% 和 58.23%, 均比 1990~2002 年的要高(分别为 2.42%、3.68%、22.54%、21.38% 和 35.76%)。

4. 1973~2002 年,有林地、灌木林、农村居民点、交通工矿建设用地以及裸岩地的平均分布高程发生了先升后降的变化;水田、旱地、其他林地、水域和城镇建设用地等则一致出现先降后升。在平均坡度方面,也出现了先陡后缓、先缓后陡、持续变陡、持续变缓四种情况。其中水田、其他林地、城镇建设用地、裸岩地先缓后陡;灌草地、交通工矿用地则属于先陡后缓;有林地、水域、农村居民点等发生了持续变陡,而旱地、灌木林等则是持续变缓。

5. 本文以中小尺度的流域作为案例,较为系统地研究了 1973~2002 年贵州中部喀斯特地区土地利用/覆被变化的过程与特征,其背后的驱动因素及其机制将成为下一步工作的重点。此外,要全面揭示中国喀斯特地区土地利用/覆被变化的过程及其驱动因素,尚有待于进行更加广泛的区域对比研究。

参考文献

- [1] Yang Mingde. On the fragility of karst environment [J]. *Yunnan Geographic Environment Research*, 1990, 2(1): 21~29 [杨明德. 论喀斯特环境的脆弱性 [J]. 云南地理环境研究, 1990, 2(1): 21~29]
- [2] Leng Shuying et al. A conceptual framework of sustainable development indicators of fragile environment of China [J]. *China Population, Resources and Environment*, 1999, 9(2): 40~45 [冷疏影. 中国脆弱生态区可持续发展指标体系框架设计 [J]. 中国人口资源与环境, 1999, 9(2): 40~45]
- [3] Peng Jian. On karst environment problems based on human land relationship [J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2001, 22(5): 275~278 [彭建. 基于人地关系论的岩溶环境问题探讨 [J]. 农业现代化研究, 2001, 22(5): 275~278]
- [4] Wang Shijie. The most serious eco-geologically environmental problem in Southwest China: karst rocky desertification [J]. *Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry*, 2003, 22(2): 120~126 [王世杰. 喀斯特石漠化: 中国西南最严重的生态地质环境问题 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 2003, 22(2): 120~126]
- [5] Su Weichang, Zhou Jizhuo. Rocky desertification in Guizhou karst region and its preventive strategy [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Valley*, 1995, 4(2): 177~182 [苏维词, 周济祚. 贵州喀斯特山地的石漠化及防治对策 [J]. 长江流域资源与环境, 1995, 4(2): 177~182]
- [6] Zhang Dianfa, Wang Shijie, Zhou Dequan. Intrinsic driving mechanism of land rocky desertification in karst regions of Guizhou Province [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2001, 21(4): 1

- ~ 5[张殿发, 王世杰, 周德全. 贵州省喀斯特地区土地石漠化的内动力机制[J]. 水土保持通报, 2001, 21(4): 1~ 5]
- [7] Lang Anjun, Xiong Kangning, An Yunlin. Analysis on driving factors of karst rock-desertification——with a special reference to Guizhou Province[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2001, 21(6): 19~ 23[蓝安军, 熊康宁, 安裕伦. 喀斯特石漠化的驱动因子分析——以贵州省为例[J]. 水土保持通报, 2001, 21(6): 19~ 23]
- [8] Wang Shijie. Concept deduction and its connotation of Karst Rocky Desertification[J]. *Carsologica Sinica*, 2002, 21(2): 101~ 105 [王世杰. 喀斯特石漠化概念演绎及其科学内涵的探讨[J]. 中国岩溶, 2002, 21(2): 101~ 105]
- [9] Xiong Kangning, Liping, Zhou Zhongfa. A Case Study on the Karst Rocky Desertification Based on RS and GIS in Guizhou Province [M]. Beijing: Geology Press, 2002: 44~ 51[熊康宁, 黎平, 周忠发. 喀斯特石漠化的遥感—GIS典型研究——以贵州省为例[M]. 北京: 地质出版社, 2002: 44~ 51]
- [10] Zhou Zhongfa, Huang Lujia. An analysis on relation of rock desertification to stratum and lithology in karst region——a case study at Qingzhen City of Guizhou Plateau[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2003, 23(1): 19~ 22[周忠发, 黄路迦. 喀斯特地区石漠化与地层岩性关系分析——以贵州高原清镇市为例[J]. 水土保持通报, 2003, 23(1): 19~ 22]
- [11] Hu Baoqing, Li Ling, Jiang Shufang. Spatial pattern analysis on karst rocky desertification of Guangxi based on landscape spatial method[J]. *Earth and Environment*, 2005, 33(21): 581~ 587[胡宝清, 李玲, 蒋树芳. 基于景观空间方法的广西喀斯特石漠化空间格局分析[J]. 地球与环境, 2005, 33(21): 581~ 587]
- [12] Liu Yansui, Deng Xusheng, Hu Yecui. Rocky land degradation and poverty alleviation strategy in Guangxi karst mountainous area [J]. *Journal of Mountain Science*, 2006, 24(2): 228~ 233[刘彦随, 邓旭升, 胡业翠. 广西喀斯特山区土地石漠化与扶贫开发探析[J]. 山地学报, 2006, 24(2): 228~ 233]
- [13] Hu Baoqing, Jiang Shufang, Liao Chimei, et al. Tupu analysis on driving mechanism of Guangxi karst rocky desertification based on 3S techniques[J]. *Journal of Mountain Science*, 2006, 24(2): 234~ 241[胡宝清, 蒋树芳, 廖赤眉, 等. 基于 3S技术的广西喀斯特石漠化驱动机制图谱分析[J]. 山地学报, 2006, 24(2): 234~ 241]
- [14] Hu Baoqing, Liao Chimei, Yan Zhiqiang, et al. Driving mechanism diagnosis of karst rocky desertification in Du'an Yao Autonomous County of Guangxi based on RS and GIS[J]. *Journal of Mountain Science*, 2004, 22(5): 583~ 590[胡宝清, 廖赤眉, 严志强, 等. 基于 RS 和 GIS 的喀斯特石漠化驱动机制分析——以广西都安瑶族自治县为例[J]. 山地学报, 2004, 22(5): 583~ 590]
- [15] Bai Xiaoyong, Xiong Kangning, Li Yangbin, et al. Quantitative research of the space dependence of different grades rocky desertification and the factor of population in karst mountain area[J]. *Journal of Mountain Science*, 2006, 24(2): 242~ 248[白晓永, 熊康宁, 李阳兵, 等. 喀斯特山区不同强度石漠化与人口因素空间差异性的定量研究[J]. 山地学报, 2006, 24(2): 242~ 248]
- [16] Turner II B. L. Relating land use and global land-cover change: a proposal for an IGBP-HDP core project[R]. IGBP report No 24 and HDP report No 5, 1993
- [17] Turner II B. F. Land-use and land-cover change: science / research plan[R]. HDP report No 7, 1995
- [18] Lambin, E. F. Land-use and land-cover change (LUCC) implementation strategy[N]. IGBP report No 48 and HDP report No 10, 1999
- [19] Moran, E. F. News on the land project[N]. Global Change News Letter, Jun 2003, Issue No 54: 19~ 21
- [20] Cai Yunlong. Perspectives on innovation in physical geography [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinesis*, 2000, 36(4): 576~ 582[蔡运龙. 自然地理学的创新视角[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2000, 36(4): 576~ 582]
- [21] Wang Xulun, Bao Yuhai. Study on the methods of land use dynamic change research[J]. *Progress in Geography*, 1999, 18(1): 81~ 87[王秀兰, 包玉海. 土地利用变化研究方法探讨[J]. 地理科学进展, 1999, 18(1): 81~ 87]
- [22] Liu Jiyuan, Bu Haosier. Study on spatial-temporal feature of modern land-use change in China using remote sensing techniques[J]. *Quaternary Sciences*, 2000, 20(3): 229~ 239[刘纪远, 布和敖斯尔. 中国土地利用变化现代过程时空特征的研究——基于卫星遥感数据[J]. 第四纪研究, 2000, 20(3): 229~ 239]
- [23] Zhuang Dafang, Liu Jiyuan. Study on the model of regional differentiation of land use degree in China[J]. *Journal of Natural Resources*, 1997, 12(2): 105~ 111[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, 12(2): 105~ 111]

Land Use/cover Change in Ecologically Fragile Karst Areas

——A Case Study in Maotiaohe River Basin, Guizhou, China

PENG Jian¹; CAI Yunlong^{2,3}; HE Gang^{2,3}; WANG Wenbo^{2,3}; HUANG Qinhao^{2,3}, YAN Fen^{2,3}

(1 School of Management, Central University of Nationality, Beijing 100081, China;

2 Department of Resource and Environmental Geography, Peking University, Beijing 100871, China;

3 Laboratory of Earth Surface Processes and Modeling, Ministry of Education, Beijing 100871, China)

Abstract It is well known that LUCC (Land Use/Cover Change) is the current front and hot field of current global change study. With unique geochemical processes, karst area is often ecologically fragile, where ecological carrying capacity is low, and the ability against external influence and disturbance weak. Over the past few decades, the karst areas in southwest China have experienced rapid social and economic change which brought forth extensive influence on local land cover. Especially, karst rocky desertification, as a result of unreasonable land use in rugged karst mountain area, emerged and expanded at an alarming rate in Guizhou province and Guangxi Zhuang Autonomous Region, as has caused increasing perception from domestic academic community. In the past 10 years, many scholars have carried out extensive studies on the karst rocky desertification and other ecological problems in the area. However, most of them just focused on the singular aspect, and a more comprehensive study on the land use and land cover change in the areas has received little attention in international LUCC community. Based on the above understanding, by making lots of ground investigation and using the remote sensed images of Landsat-MSS in the year of 1973 and Landsat-TM in 1990 and 2002, and with the support of triple "S" technique of RS, GIS and GPS, the authors calculated the indexes of single land cover change velocity, comprehensive land cover change velocity, land use degree, and spatial land cover distribution, and made a case study on land use/cover change over the past 30 years in Maotiaohe river basin, which is a typical karst watershed with fragile eco-environment. The results show that the leading land covers are cultivated land, grass land, shrub land and forest land. Since the beginning of 1970s, the land covers in the study area have experienced dramatic change, but there are obvious difference among different types of land covers, with paddy field, shrub land, grass land, and other forest land decreased first and then increased, and dry field and rock-exposed land increased first and then decreased, and forest land, water area, urban construction land, rural settlement, and transportation and industrial land continuously increased. The land use change velocity and land use degree in the period from 1973 to 1990 is higher than that from 1990 to 2002. It needs to be pointed out that rock-exposed land expanded in the 1970s and 1980s, as means that the land use in the period was not sustainable. Since 1990, the rock-exposed land decreased and the ecological quality tends to be better. With the area of land covers expanded and decreased, the mean elevation and gradient of each land covers changed.

Key words karst; land use/cover change; triple "S" techniques; Maotiaohe river basin