

喀斯特生态脆弱区桂西北土地变化特征

张明阳^{1,3,4}, 王克林^{1,3,*}, 刘会玉², 陈洪松^{1,3}

(1. 中国科学院亚热带农业生态研究所, 亚热带农业生态过程重点实验室, 湖南 410125; 2. 南京师范大学地理科学学院, 南京 210046;
3. 中国科学院环江喀斯特生态系统观测研究站, 广西 环江 547100; 4. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:土地变化(LC)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变化是国际 LC 研究中的薄弱环节。以典型喀斯特区域桂西北为例,通过详实的地面调查,以 1985 年、1990 年和 2000 年的 Landsat TM (ETM)影像为主要数据源,在 3S 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变化空间指数等指标,定量研究了桂西北过去 15a 来的土地变化特征。研究表明:(1)研究区的土地类型主要以灌木、林地和稀疏地为主(在各个年份总比例分别为 73.72%、74.14% 和 73.59%),居民建设用地少(3 个年份分别为 0.37%、0.37% 和 0.41%),石漠化地和稀疏地比例高(总比例分别为 20.44%、22.84% 和 20.44%);(2)土地变化剧烈,各地类之间的变化幅度差别较大,旱地、石漠化地和林地等先减后增;水田、稀疏地和草地等先增后减;居民地持续增加型;(3)受降水量和生态移民影响,区域土地动态度先低后高(分别为 63.54% 和 93.87%),石漠化地先减后增,生态环境向恶化方向发展;(4)伴随着土地类型转换的伸缩变化,各地类的平均分布高程和坡度也出现相应的变化。

关键词:喀斯特;土地变化;3S 技术;桂西北

文章编号:1000-0933(2009)06-3105-12 中图分类号:Q149, Q988, X171, X37 文献标识码:A

The characteristic of land changes in ecologically fragile Karst Areas: a case study in Northwest Guangxi, China

ZHANG Ming-Yang^{1,3,4}, WANG Ke-Lin^{1,3}, LIU Hui-Yu², CHEN Hong-Song^{1,3}

1 Key Laboratory for Agro-ecological Processes in Subtropical Region, Institute of Subtropical Agriculture, CAS, Hunan 410125, China

2 College of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China

3 Huanjiang Observation and Research Station for Karst Ecosystems, CAS, Huanjiang, Guangxi 547100, China

4 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(6): 3105 ~ 3116.

Abstract: Karst areas have usually poor geochemical conditions and fragile ecology, due to rocky desertification which is often induced by ineffective land uses and management. To understand land change in the Karst region over the past 20 years in North-western Guangxi, China, indexes of single land change velocity, comprehensive land change velocity, land use degree, and spatial distribution were investigated by land surveys, and analyzed used information from remote sensed images of Landsat TM in 1985, 1990 and 2000, and RS, GIS and GPS techniques. The results show that shrub, woodland, and sparseness land were the main land types in the region (total ratios were 73.72%, 74.14% and 73.59% in the three years respectively), where the proportions of rocky land and sparseness were high (total ratios were 20.44%, 22.84% and 20.44% in the three years respectively). Land types in the study area have changed dramatically between 1985 and 2000. There were significant differences in land changes among different land types. Arable land, rocky land and woodland decreased in the early phase of the period, but increased afterwards, while paddy field, sparseness and grassland changed

基金项目:中国科学院西部行动计划资助项目(KZCX2-XB2-08);国家 973 计划资助项目(2006CB403208);中国科学院“西部之光”人才培养计划资助项目

收稿日期:2008-06-05; 修订日期:2009-06-04

致谢:感谢吴金水博士对本文写作的帮助。

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: kelin@isa.ac.cn

opposite, resident land increased continuously. Due to the influences of the precipitation and the environmental immigrant, the land change velocity and land use degree during the period from 1990 to 2000 were higher than those from 1985 to 1990 (93.87% and 63.54% respectively). Since 1990, the rocky land increased and the ecological quality declined.

Key Words: Karst; landuse changes; 3S techniques; Northwest Guangxi, China

土地变化(LC)是当前全球变化研究的热点和前沿领域^[1-3],虽然国际 LC 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^[4,5],但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^[6-8]。喀斯特地区生态系统变异敏感度高,是典型的生态环境脆弱地区^[9-11],土地变化剧烈,无疑应成为 LC 研究的热点地区,但全球范围内喀斯特地区土地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^[12,13]。西南喀斯特地区是我国五大生态脆弱区之一^[14,15],同时由于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^[16-18],相关领域开展了对喀斯特石漠化的内涵、空间分布特征、形成原因等问题的研究^[19-23]。由于土地变化和石漠化形成演变直接存在内在关联性^[24],因此以土地变化作为切入点开展研究具有直接的现实意义,同时也有助于揭示土地利用和喀斯特生态环境问题形成、演变之间的动态关联。

1 研究区概况

桂西北地处广西西北边陲、云贵高原南麓,介于 104°29' ~ 109°09'E, 23°41' ~ 25°37'N 之间(地理位置见图 1)。总面积约为 71992km²,主要包括广西河池地区的 11 个县(市)和百色地区的 12 个县市,总人口约 750.44 万(2004 年)。以山地、丘陵、洼地为主,海拔从 1000 多 m 降至 100m。属于中亚热带南缘季风气候区,年平均气温在 23.5℃,年均降水在 1000 ~ 1600mm,时空分布不均。属典型山区,山区面积比例大(百色石山占 30%、土山占 65.4%;河池石山区占 59%,土山区占 30.7%)。成土母岩与母质主要有砂页岩、石灰岩、花岗岩、紫色岩、硅质岩、辉绿岩、第四纪红土、冲积物等。喀斯特地貌广为发育,是我国喀斯特地貌发育最典



图 1 桂西北地理位置示意图

Fig. 1 The sketch map of geography location in Northwest Guangxi, China

型、分布最广的地区之一,是广西石漠化分布面积最广的地区,同时也是全国 18 个连片贫困的地区之一,有 19 个国家级重点扶持贫困县(百色 10 个,河池 9 个)。

2 方法与数据

2.1 土地类型分类

根据中国科学院资源环境信息数据的分类系统,同时结合桂西北的地表覆盖特征和影像分辨率,将研究区分为 9 类土地类型,分类说明见表 1。

表 1 土地类型分类说明
Table 1 The classification explanation of land types

土地类型 Land types	分类说明 Classification explanation
水田 Paddy field	指有水源保证和灌溉设施,用以种植水稻等水生农作物的耕地 Land under cultivation for crops such as rice, with water-guarantee and irrigation facilities
旱地 Dry land	指靠天然降水生长作物旱作物地;以种菜为主的耕地 Land under cultivation for dry crops relying on natural rainfall; Land under cultivation mainly for vegetables
林地 Wood land	指植被覆盖度 >30% 的天然和人工成片林地 Woodland under natural and artificial with the vegetation coverage above 60 percent
灌木 Shrub	指植被覆盖度 >20% 的矮林地和灌丛林地 Land under coppice and shrub with the vegetation coverage above 20 percent
稀疏地 Sparseness	指植被覆盖度 <20% 的灌木和草地,以及覆盖度在 5% 以下的裸土 Land under shrub and grassland with the vegetation coverage below 20 percent, and the bare-soil with the vegetation coverage below 5 percent
草地 Grassland	指覆盖度在 >30% 的天然草地、改良草地和割草地 Land under grassland with the vegetation coverage below 30 percent, such as natural grassland, improved grassland and cutting grassland
水域 Water	指天然陆地水域和水利设施用地 Identifies natural or man-made basins that usually contain water on a permanent basis
居民地 Resident	指城乡、农村居民点以及工矿、交通等建设用地 The areas for permanent residence, construction such as mining or transportation, etc.
石漠化地 Rocky land	指植被覆盖度在 5% 以下的岩石或石砾地 Rocky land with the vegetation coverage below 5 percent

2.2 数据

采用的原始数据为 1985 年、1990 年和 2000 年的 Landsat TM (ETM)遥感影像。根据光谱特征,分别采用 5、3、2 和 5、4、3 波段合成区分不同的土地类型。以事先经过地理配准的地形图作为参照,通过最临近点插值法对 2000 年原始影像进行重采样和几何精纠正,误差控制在 0.5 个像元内。然后以 2000 年影像为基础,对 1990 年和 1985 年影像进行精确几何匹配。

针对桂西北地表破碎和地表覆盖复杂的特点,借助 GPS 到研究区进行实地考察,并建立解译标志(设置随机采样点 450 个,有相当部分的随机点不可到达,只能按照图像相似性原则,选取可达点 165 个,在 ERDAS 中运用精度评估模块,Kappa 指数为 0.81)。由于研究区是典型的喀斯特发育区,混合像元较多,同谱异物和同物异谱的情况较多,同时遥感时相不完全一致,相同地类在不同时期的光谱特征差异较大,通过人工目视解译可以较好地保证解译精度。先对 2000 年的影像进行解译,然后将解译结果与 1990 年和 1985 年的影像叠加,提取并修改地表覆盖信息,分别得到 3 个年份的土地类型图。

2.3 研究方法

2.3.1 土地转移矩阵

在 ARCGIS 中,将 3 个年份的矢量土地类型数据,进行 CONVERT 格式转换为 GRID 栅格数据,然后在空间分析模块中 CALCULATOR 得到变化图层,导出数据表在 EXCEL 分析得到变化数据。

2.3.2 土地变化量

(1)单一土地变化率

用来描述某种土地类型在某一时期内的变化速率,计算如公式(1)^[25]:

$$S = \frac{S_b - S_a}{S_a} \times 100\% \quad (1)$$

其中, S 为某种土地类型在时段内的变化速率; S_b 、 S_a 分别为初期及末期土地类型的面积。

(2) 单一土地转出率和转入率

某一土地类型数量的变化是转入和转出综合作用的结果,单一土地变化率仅反映该土地类型在研究初期和期末的数量变化,不能揭示期间土地类型转入和转出的情况。而转入和转出的变化是土地变化研究需要重点关注的内容,因此采用单一土地转出率和转入率来描述这种变化。单一土地转出率主要反映某一土地类型在某一时期内转为其它地类的幅度,单一土地转入率主要反映某一土地类型在某时期内由其它地类转化而来的幅度,采用(2)、(3)公式^[25]:

$$T_i = \frac{\sum_{j=1}^{n-1} T_{ij}}{L_{i0}} \times 100\% \quad (2)$$

$$M_i = \frac{\sum_{j=1}^{n-1} M_{ji}}{L_{in}} \times 100\% \quad (3)$$

式中, T_i 为地类 i 在 t_0 到 t_k 时期内土地转出率; M_i 为地类 i 在 t_0 到 t_k 时期内土地转入率; T_{ij} 为在 t_0 到 t_k 时期地类 i 转为地类 j 的面积; M_{ji} 为在 t_0 到 t_k 时期地类 j 转为地类 i 的面积; L_{i0} 是地类 i 在 t_0 时刻的面积; L_{in} 是地类 i 在 t_k 时刻的面积; n 为研究区土地类型数量。

(3) 综合土地动态度

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。计算如公式(4)^[26]:

$$LC = \frac{\sum_{j=1}^{n-1} \Delta LU_{ij}}{\sum_{j=1}^{n-1} LU_i} \times 100\% \quad (4)$$

式中, LU_i 为监测起始时间第 i 类土地类型面积; ΔLU_i 为监测时段第 i 类土地类型转为非 i 类土地类型面积的绝对值。

(4) 土地利用度

主要用以反映研究区人类开发利用土地的强度。首先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),通过每级土地覆盖类型在研究区中所占的百分比与分级指数乘积加权求和得到研究区的土地利用度。计算如公式(5)^[27]:

$$LUD = \sum_{i=1}^n L_i \times A_i \quad (5)$$

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

表2 桂西北土地利用强度分级

Table 2 The classification of land use intensity in Northwest Guangxi, China

级别 Grades	未利用地 Not used land	林、草、水用地 Wood, grass and water	农业用地 Farming land	居民用地 Resident land
土地类型 Land types	稀疏地、石漠化地 Sparseness, Rocky land	林地、灌木、草地、水域 Wood land, shrub, grass land, water	水田、旱地 Paddy field, dry land	居民用地 Resident
指数 Index	1	2	3	4

(5) 土地分布空间变化指数

土地分布高程变化指数是描述研究区时段内某一种土地类型平均分布高程和坡度的变化幅度。该指数若为正值,说明某地类的平均海拔高程和坡度增加,计算如公式(6)和(7)。

$$\Delta H_i = H_{itk} - H_{it0} \quad (6)$$

$$\Delta S_i = S_{itk} - S_{it0} \quad (7)$$

式中, ΔH_i 是第 i 种地类在研究区的平均高程变化值; H_{it0} 是第 i 种地类在研究时段初期 t_0 平均海拔分布; H_{itk} 是第 i 种地类在研究时段初期 t_k 平均海拔分布; ΔS_i 是第 i 种地类在研究区的平均坡度变化值; S_{it0} 是第 i 种地类在研究时段初期 t_0 平均坡度分布; S_{itk} 是第 i 种地类在研究时段初期 t_k 平均坡度分布。

3 结果分析

3.1 面积变化

由表 3 和图 2 可知,桂西北 3 个年份(1985 年、1990 年和 2000 年)的主要土地类型都是灌木、林地和稀疏地。1985 年,灌木为 20876.31 km²,林地为 14032.01 km²,稀疏地为 18160.26km²,三者总比例为 73.72%。1990 年,灌木、林地和稀疏地的面积分别为 20897.65 km²、15783.98 km² 和 16697.65km²,其总比例为 74.14%。2000 年,灌木 20855.38 km²,林地 14019.40 km²,稀疏地 18107.93km²,其总比例为 73.59%。水田、旱地等耕地比例较小,二者总比例在 3 个年份分别为 14.68%、13.48% 和 14.68%。居民建设用地和水域占地很少(总比例在各个年份分别为 0.94%、0.92% 和 1.06%)。石漠化地虽然不到 1%,但与稀疏地合计比例相当高(分别为 20.44%、22.84% 和 20.44%)。这种自然覆被类型为主导和石漠化地和稀疏地比例高的格局,与其处于我国西南高植被覆盖区和喀斯特地貌广泛发育的地理地貌背景紧密相关。

表 3 桂西北土地类型面积与百分比

Table 3 Areas and percent of the land types in Northwest Guangxi, China

项目 Item	1985		1990		2000	
	面积 Area (km ²)	百分比 Percent(%)	面积 Area (km ²)	百分比 Percent(%)	面积 Area (km ²)	百分比 Percent(%)
水田 Paddy field	5255.21	7.30	5528.27	7.68	5221.52	7.25
旱地 Dry land	5312.73	7.38	4176.17	5.80	5348.80	7.43
林地 Wood land	18160.26	25.23	16697.87	23.19	18107.93	25.15
灌木 Shrub	20876.31	29.00	20897.65	29.03	20855.38	28.97
稀疏地 Sparseness	14032.01	19.49	15783.98	21.92	14019.40	19.47
草地 Grassland	6994.27	9.72	7575.12	10.52	6976.94	9.69
水域 Water	410.32	0.57	398.77	0.55	468.34	0.65
居民地 Resident	263.56	0.37	268.80	0.37	296.46	0.41
石漠化地 Rocky land	687.22	0.95	665.25	0.92	697.08	0.97
合计 Total	71991.89	100	71991.88	100	71991.84	100

由图 3(桂西北土地类型面积变化)分析可知,土地类型面积变化存在 3 个明显特征:

(1)水田、稀疏地和草地大量增加,然后大幅度减少:从 1985 年到 1990 年,水田面积增加 273.06km²,稀疏地增加 1751.96km²,草地面积增加 580.85km²。而从 1990 年到 2000 年,水田减少 306.75km²,稀疏地减少 1764.58km²,草地减少 598.18km²。(2)旱地、林地和石漠化地先大量减少,然后大幅度增加:从 1985 年到 1990 年,旱地减少 1136.56km²,林地减少 1462.39km²,石漠化地减少 21.97km²;而从 1990 到 2000 年,旱地增加 1172.63km²,林地增加 1410.06km²,石漠化地增加 31.82km²。(3)灌木和水域增减幅度较小:灌木先增加 21.34km²,后减少 42.27 km²,水域面积先减少 11.55 km²后增加 69.57km²。(4)居民用地一直增加:居民地虽然在整个研究区域所占比例小(分别仅占 0.37%、0.37% 和 0.41%),但一直是处于增加的状态(分别增加

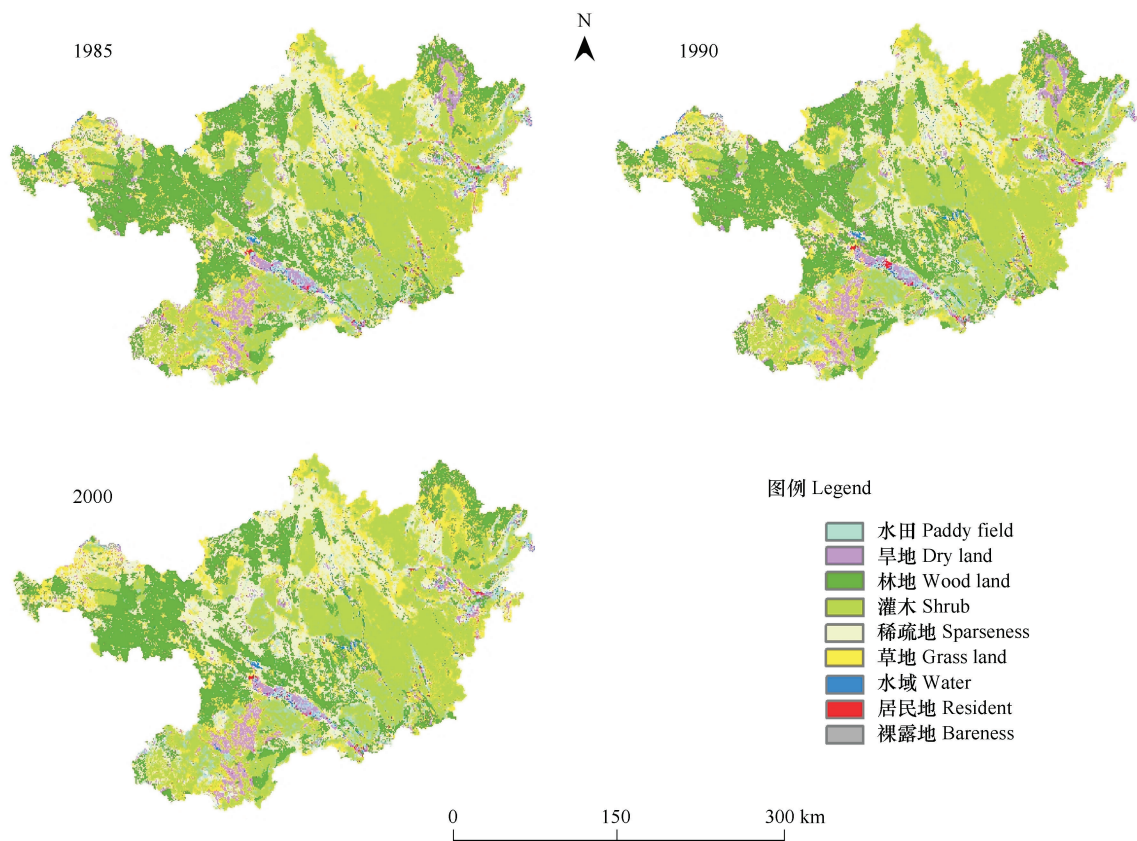


图2 桂西北土地类型分布图
Fig. 2 The distribution of the land types in Northwest Guangxi, China

5.25km²和27.65km²)。这主要是由于降水量和政策的影响,3个年份年均降水量分别为1244mm、1356mm、1217mm,随着降水量的增加,水田面积增加,反之随着降水量减少旱地增加,由于水田挤占水域面积增减并不明显。20世纪90年代在环境恶劣的石山区进行了大规模的生态环境移民,尤其是1993~2002年期间广西有49133户(232705人)进行了生态移民。

3.2 动态度变化

从表4(桂西北土地动态度)分析可知,从1985年到1990年,动态度大的是旱地、稀疏地、草地和林地4种土地类型,分别达21.39%、12.49%、8.30%和8.05%;而从1990年到2000年,动态度大的前四种土地类型是旱地、水域、稀疏地和居民地,分别达28.08%、17.45%、11.18%和10.29%。从中可以看出,尽管研究区域由于其恶劣的喀斯特环境土地利用程度并不很高(表7),但旱地、稀疏地的动态度一直很大,说明当地居民对土地类型影响大。

从1985年到1990年,旱地、水域、林地和石漠化地转出率高(分别为27.64%、14.88%、12.55%和8.81%),草地、稀疏地、水域和石漠化地转入率高(分

别为14.27%、14.15%、13.15%和8.71%);随着生态环境移民政策的实施,从1990年到2000年,不仅居民用地大幅增加,更为显著的是大量稀疏地和草地开垦为旱地,使得稀疏地和草地急剧减少而旱地急剧增加,同

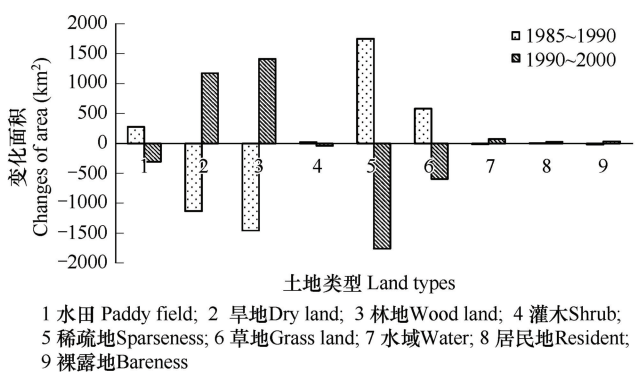


图3 桂西北土地类型面积变化
Fig. 3 The area changes of the land types in Northwest Guangxi, China

时由于人类活动压力的增大石漠化地也随之增加。其中,草地、稀疏地和石漠化地转出率高(分别为 14.39%、14.23%和 9.10%),旱地、水域和石漠化地转入率高(分别为 28.21%、16.84%和 13.25%),居民地也不低(10.82%)。这也说明随着人类活动压力的增大,稀疏地和石漠化地在从 1985 年到 2000 年变化频繁,区域生态环境有所退化。虽然条件恶劣,但居民建设用地稳步上升,居民居住条件和交通基础设施有所改善。

表 4 桂西北土地动态度
Table 4 The dynamic degrees of the land in Northwest Guangxi, China

项目 Item	单一土地动态度 Single dynamic degrees		单一土地转出率 Single turnout rate		单一土地转入率 Single turn rate	
	1985 ~ 1990	1990 ~ 2000	1985 ~ 1990	1990 ~ 2000	1985 ~ 1990	1990 ~ 2000
水田 Paddy field	5.20	-5.55	1.39	6.55	6.16	1.06
旱地 Dry land	-21.39	28.08	27.64	8.05	8.89	28.21
林地 Wood land	-8.05	8.44	12.55	5.14	4.70	12.52
灌木 Shrub	0.10	-0.20	1.80	1.86	1.89	1.66
稀疏地 Sparseness	12.49	-11.18	3.52	14.23	14.15	3.44
草地 Grassland	8.30	-7.90	7.38	14.39	14.27	7.05
水域 Water	-2.82	17.45	14.88	2.32	13.15	16.84
居民地 Resident	1.99	10.29	1.63	1.60	5.78	10.82
石漠化地 Rocky land	-3.20	4.78	8.81	9.10	8.71	13.25

3.3 类型转移变化

在 1985 年、1990 年和 2000 年 3 个年份中,研究区域土地类型虽然差别并不大,都是以自然覆被类型为主导、居民建设用地小、石漠化地和稀疏地比例高的土地格局,但从图 4 桂西北土地转移图可知,不管是从 1985 年到 1990,还是从 1990 年到 2000 年,桂西北土地类型发生了剧烈的转换,只有极少数区域的覆被类型保持原有类型不变。

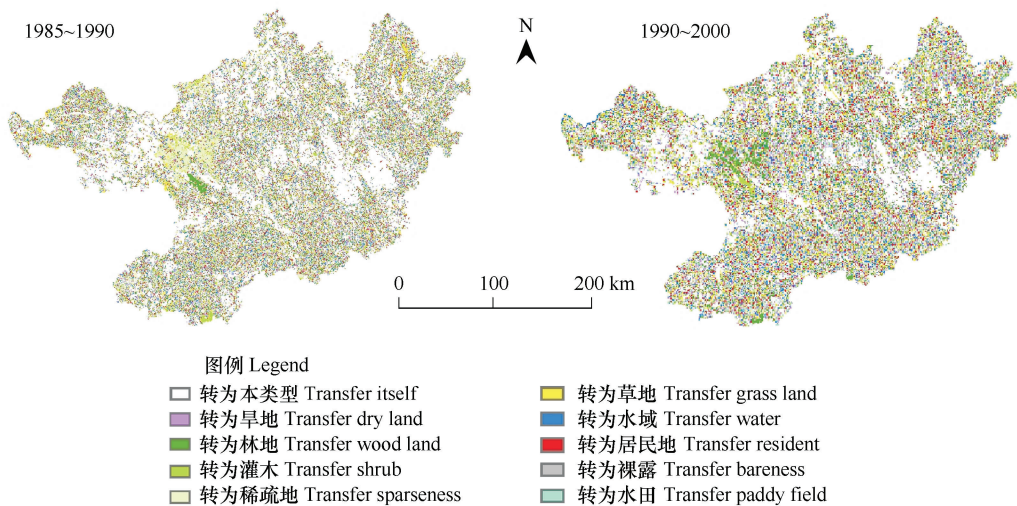


图 4 桂西北土地类型转移图
Fig.4 The transfer chart of the land types in Northwest Guangxi, China

从表 5(桂西北 1985 年到 1990 年的土地类型转移矩阵)分析可知,水田转换为稀疏地、水域、灌木、旱地等覆被类型较多,分别有 18.18、17.08、12.98km²和 8.98km²,而直接转为林地和石漠化地较少(2.65km²和 0.41km²)。旱地转换为草地、林地、稀疏地、水田等覆被类型较多,分别有 561.40、351.22、212.05km²和

178.05km²,直接转为石漠化地也不少(39.74km²)。林地转换为稀疏地最多(1788.52km²),直接转为居民地最少(0.20km²)。灌木绝大多数转为其本身覆被类型,只有0.1%转换为其它土地类型。随着水土保持工作的初步成效,稀疏地转换为草地和林地较多(分别有195.53km²和122.08km²),转为水田和旱地不少(65.03km²和62.81km²)。草地转为稀疏地和林地不少(144.82km²和114.31km²),而转为石漠化地非常少(0.41km²)。从1985年到1990年,总体来说,土地类型向着生态环境好转的方向发展。

表 5 桂西北 1985 ~1990 年土地类型转移矩阵(km²)
Table 5 The transfer matrix of the land types in Northwest Guangxi, China in 1985 ~1990

项目 Item	水田 Paddy field	旱地 Dry land	林地 Wood land	灌木 Shrub	稀疏地 Sparseness	草地 Grass land	水域 Water	居民地 Resident	石漠化地 Rocky land
水田 Paddy field	5181.96	8.98	2.65	12.98	18.18	7.26	17.08	5.71	0.41
旱地 Dry land	178.05	3844.28	351.22	114.49	212.05	561.40	4.90	6.62	39.74
林地 Wood land	6.89	102.31	15880.85	170.26	1788.52	203.37	0.87	0.20	6.96
灌木 Shrub	21.60	27.43	180.79	20500.90	40.68	100.32	0.79	0.93	2.86
稀疏地 Sparseness	65.03	62.81	122.08	15.95	13538.51	195.53	25.63	1.46	4.99
草地 Grassland	60.13	120.20	114.31	75.36	144.82	6478.42	0.25	0.37	0.41
水域 Water	7.30	6.03	7.11	2.42	22.93	12.44	349.24	0.25	2.59
居民地 Resident	1.07	1.33	0.00	0.30	1.14	0.12	0.34	264.39	0.00
石漠化地 Rocky land	0.41	42.22	6.56	3.23	5.04	0.48	2.59	0.00	604.73

从表 6 桂西北 1990 年到 2000 年土地类型转移矩阵分析可知,水田转换为旱地、稀疏地和草地覆被类型较多(分别有183.57、64.93 km²和53.72 km²),直接转为居民地和石漠化地也不少,分别有23.03 km²和2.26 km²,都远高于1985 ~1990 年期间的转换。旱地转换为林地和草地等覆被类型较多,分别有120.41 km²和103.45 km²。林地转换为旱地、灌木、稀疏地和草地都不少,分别有398.74、165.44、125.50 km²和111.58 km²,直接转为石漠化地也不少,有44.42 km²。灌木转为林地和旱地最多,分别有168.94 km²和116.56 km²。稀疏地虽然是转为林地最多(1778.31 km²),但转为旱地、草地和石漠化地也不少(分别有240.09、129.01 km²和21.41 km²)。随着生态移民大量开垦和人类对环境压力的增大,大量草地转为旱地(523.52 km²),部分草地转为石漠化地(18.36 km²)。随着居民开垦种植而挤占水域,不少水域转为水田(有3.40 km²)。从1990 年到 2000 年总体来说,土地类型向着环境恶化方向发展。

表 6 桂西北 1990 ~2000 年土地类型转移矩阵(km²)
Table 6 The transfer matrix of the land types in Northwest Guangxi, China in 1990 ~2000

项目 Item	水田 Paddy field	旱地 Dry land	林地 Wood land	灌木 Shrub	稀疏地 Sparseness	草地 Grass land	水域 Water	居民地 Resident	石漠化地 Rocky land
水田 Paddy field	5165.91	183.57	5.98	21.47	64.93	53.72	7.41	23.03	2.26
旱地 Dry land	9.05	3839.92	103.45	27.27	63.30	120.41	7.26	5.05	0.46
林地 Wood land	2.65	398.74	15840.13	165.44	125.50	111.58	8.75	0.65	44.42
灌木 Shrub	13.59	116.56	168.94	20508.83	5.12	76.46	2.33	0.34	5.45
稀疏地 Sparseness	18.18	240.09	1778.31	29.64	13537.37	129.01	27.97	1.98	21.41
草地 Grassland	7.25	523.52	204.17	98.40	215.10	6485.07	22.22	1.00	18.36
水域 Water	3.40	2.83	0.27	0.79	1.91	0.08	389.45	0.00	0.00
居民地 Resident	1.07	1.33	0.00	0.30	1.14	0.12	0.34	264.39	0.00
石漠化地 Rocky land	0.41	42.22	6.56	3.23	5.04	0.48	2.59	0.00	604.73

由表 7(桂西北 3 个年份土地利用度)可知,桂西北综合土地利用强度经历了先减轻后加重的变化趋势,3 个年份的土地利用度分别为194.97、191.38 和195.06,总体趋势向着强度加大的方向发展。这与转移矩阵分析土地类型向着生态环境好转和然后趋于恶化的变化趋势相一致。

表 7 桂西北 3 个年份土地利用度

Table 7 The intensity degrees of the land use in Northwest Guangxi, China in three years										
年份 Years	水田 Paddy field	旱地 Dry land	林地 Wood land	灌木 Shrub	稀疏地 Sparseness	草地 Grass land	水域 Water	居民地 Resident	石漠化地 Rocky land	总计 Total
1985	21.90	22.14	50.45	58.00	19.49	19.43	1.14	1.46	0.95	194.97
1990	23.04	17.40	46.39	58.06	21.92	21.04	1.11	1.49	0.92	191.38
2000	21.76	22.29	50.31	57.94	19.47	19.38	1.30	1.65	0.97	195.06

3.4 分布空间变化

随着土地类型的伸缩变化,土地类型的平均高程和坡度都发生了相应的变化。由表 8 和图 5 桂西北土地分布空间变化分析可知,从 1985 年到 1990 年再到 2000 年,高程变化情况为:水田和稀疏地先增加后减少,水田先增加 15.78m 后减少 13.62m,稀疏地先增加 18.62m 后减少 16.72m。旱地和水域先大量减少然后大量增加,旱地先减少 21.53m 后增加 13.39m,水域先减少 41.61m 后增加 47.68m。居民地平均海拔一直在减少,分别减少 6.78m 和 2.63m。石漠化地先有所下降然后大幅上升,先减少 0.88m 而后增加 10.39m。土地类型坡度变化规律为:水田和稀疏地坡度先大幅增加后大幅减少,水田先增加 0.28°后减少 0.25°,稀疏地先增加 0.29°后减少 0.28°。旱地先大量减少(0.74°)后大量增加(0.70°)。石漠化地先稍微有所下降(0.01°)后大量增加(0.17°),增幅达 0.16°。

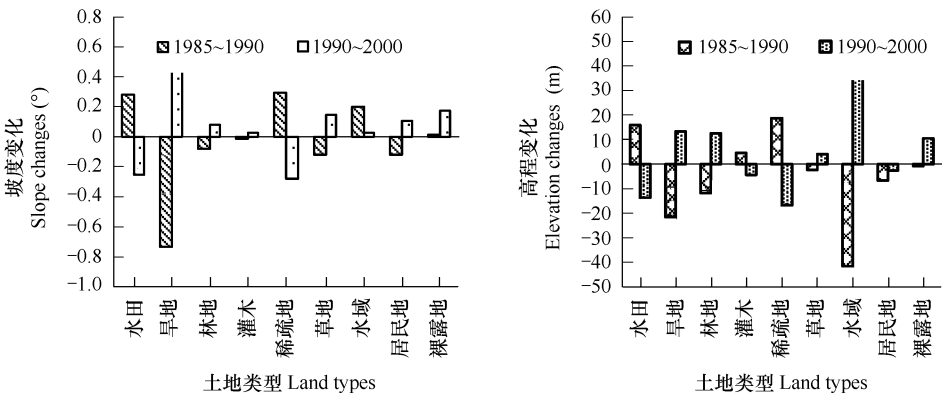


图 5 桂西北土地类型空间分布变化

Fig.5 The spatial distribution changes of the land types Northwest Guangxi, China

水田 Paddy field; 旱地 Dry land; 林地 Wood land; 灌木 Shrub; 稀疏地 Sparseness; 草地 Grass land; 水域 Water; 居民地 Resident; 裸露地 Bareness

表 8 桂西北土地空间分布变化

Table 8 The spatial distribution changes of the land types Northwest Guangxi, China				
项目 Item	坡度变化 Slope changes		高程变化 Elevation changes	
	1985 ~ 1990	1990 ~ 2000	1985 ~ 1990	1990 ~ 2000
水田 Paddy field	0.28	-0.25	15.78	-13.62
旱地 Dry land	-0.74	0.70	-21.53	13.39
林地 Wood land	-0.07	0.08	-11.79	12.57
灌木 Shrub	-0.01	0.02	4.61	-4.38
稀疏地 Sparseness	0.29	-0.28	18.62	-16.72
草地 Grassland	-0.12	0.15	-2.31	4.20
水域 Water	0.20	0.03	-41.61	47.68
居民地 Resident	-0.11	0.11	-6.78	-2.63
石漠化地 Rocky land	0.01	0.17	-0.88	10.39

由表 8 和图 5 可知,高程和波段变化分析与前面转移矩阵分析的转入情况相一致,从 1990 年到 2000 年,水田和稀疏地因大量低海拔面积扩张而坡度明显减少,旱地先因面积大量减少而后草地和林地的大量转换而使海拔增加明显坡度明显加大,而石漠化地因林地、稀疏地和草地的大量转换而海拔增高坡度增加。

4 结论与讨论

通过研究桂西北 1985 年、1990 年和 2000 年的土地变化,得到以下主要结论:

(1)3 个年份的绝对优势土地类型为灌木、林地和稀疏地,总比例在 3 个年份中分别为 73.72%、74.14% 和 73.59%。水田和旱地比例较小(总比例分别为 14.68%、13.48% 和 14.68%)。居民用地和水域很少(总比例分别为 0.94%、0.92% 和 1.06%),石漠化地与稀疏地合计比例高(分别为 20.44%、22.84% 和 20.44%)。这种自然覆被类型为主导、居民用地少、石漠化地和稀疏地比例高的格局与桂西北地理地貌背景紧密相关。

(2)前后两个时间段土地变化绝对数量和动态度不完全一样。从 1985 年到 1990 年土地变化绝对数量是稀疏地>林地>旱地>草地>水田>石漠化地>灌木>水域>居民地,动态度则是旱地>稀疏地>草地>林地>水田>石漠化地>水域>居民地>灌木。从 1990 年到 2000 年土地变化绝对数量是稀疏地>林地>旱地>草地>水田>水域>灌木>石漠化地>居民地,动态度则是旱地>水域>稀疏地>居民地>林地>草地>水田>石漠化地>灌木。这主要是由于稀疏地和林地本身面积大,因而其类型转换数量大,旱地和水田由于生态环境移民和退耕还林等政策人为因素的影响因而动态度大,居民地变化绝对数量和动态度都小(从 1990 年到 2000 年稍大),是由于喀斯特本身恶劣的自然环境条件城镇化水平不高,仅后期才增长较多。

(3)各土地类型通过相互间的转换而使得各自绝对数量发生增减变化,从而形成各具特点的变化趋势。从 1985 年到 1990 年再到 2000 年,土地变化分为 3 种类型:先减后增型、先增后减型、持续增加型。旱地、石漠化地和林地属先减后增型;水田、稀疏地和草地属先增后减型;居民地属于持续增加型。这主要是由于降水量先增后减(1244、1356、1217mm)的气候变化使得石漠化的发展具备了基础条件,同时社会经济的发展带动居民地的持续增长。

(4)随着降水量和生态移民政策的影响,前后两个时期土地变化频繁且存在差异。综合土地动态度分别是 63.53% 和 93.87%,转出率分别是 79.60% 和 63.25%,转入率分别是 77.71% 和 94.85%。后期比前期土地动态度大,转入率高,石漠化地明显增加,环境向恶化方向发展。

(5)随着土地类型水平方向的伸缩变化,各土地类型平均分布高程随之发生变化。水田、灌木和稀疏地的平均分布高程发生先升后降的变化;旱地、林地、草地、水域和石漠化地则一致出现先降后升,只有居民地平均分布高程一直下降。在平均坡度方面,出现先陡后缓、先缓后陡、持续变陡 3 种情况。其中水田和稀疏地先陡后缓;旱地、林地、灌木、草地和居民点属于先缓后陡;水域和石漠化地则持续变陡。

本文以桂西北作为案例,较为系统地研究了 1985 年、1990 年和 2000 年喀斯特地区土地变化过程与特征,其背后的驱动因素及其机制将成为下一步研究重点。此外,要全面揭示中国喀斯特地区土地变化过程及其驱动因素,尚有待于进行更加广泛的区域对比研究。

References:

- [1] Turner II B L. Relating land use and global land-cover change: a proposal for an IGBP - HDP core project. IGBP report No. 24 and HDP report No. 5, 1993.
- [2] Turner II B F. land2use and land-cover change science/research plan. IHDP report No. 7, 1995.
- [3] Lambin E F. Land use and land cover change (LUCC) implementation strategy. IGBP report No. 48 and IHDP report No. 10, 1999.
- [4] Moran E F. News on the land project. Global Change News Letter, Jun. 2003, Issue No. 54: 19-21.
- [5] Peng J, Cai Y L, He G, *et al.* Land use/cover change in ecologically fragile Karst Areas — a case study in Maotiaohe River Basin, Guizhou China. *Journal of Mountain Science*, 2007, 25(5): 566-676.
- [6] Cai Y L. Perspectives on innovation in physical geography. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinesis*, 2000, 36(4): 576-582.
- [7] Zhang M Y, Wang K L, Liu H Y, *et al.* Heterogeneity of landscape pattern with elevation in Karst area. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(7):

1156—1160.

- [8] Zhang M Y, Wang K L, Liu H Y, *et al.* Dynamical monitoring and analysis on water and soil erosion in the Karst region based on RS and GIS. *Resource Science*, 29(3):124—131.
- [9] Yang M D. On the fragility of karst environment. *Yunnan Geographic Environment Research*, 1990, 2 (1): 21—29.
- [10] Wang S J. The most serious ecogeologically environmental problem in Southwestern China: karst rocky desertification. *Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry*, 2003, 22 (2): 120—126.
- [11] Leng S Y. A conceptual framework of sustainable developmental indicators of fragile environment of China. *China Population, Resources and Environment*, 1999, 9 (2): 40—45.
- [12] Xiang C G, Song L H, Zhang P J, *et al.* Preliminary study on soil fauna diversity in different vegetationCover in shilin national park, Yunnan, China. *Resource Science*, 2004, 26(supplement):98—103.
- [13] Wu Y M, Zhang Y. Ecological security and resource utilization efficiency of Guangxi Province in Southwest Karst Areas of China. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(1): 0242—0249.
- [14] Jiang Y J, Yuan D X, Xie S Y, *et al.* Spatial variability of soil organic matter content in a typical karst watershed: case study of Xiaojiang watershed, Yunnan Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(5): 2040—2047.
- [15] Zhang D F, Wang S J, Zhou D Q. Intrinsic driving mechanism of land rocky desertification in karst regions of Guizhou Province. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2001, 21 (4): 1—5.
- [16] Wang S J. Concept deduction and its connotation of Karst Rocky Desertification. *Carsologica Sinica*, 2002, 21 (2): 101—105.
- [17] Xiong K N, Li P, Zhou Z F. A Case Study on the Karst Rocky Desertification Based on RS and GIS in Guizhou Province. Beijing: Geology Press, 2002. 44—51.
- [18] Hu B Q, Li L, Jiang S F. Spatial pattern analysis on karst rocky desertification of Guangxi based on landscape spatial method. *Earth and Environment*, 2005, 33 (zl): 581—587.
- [19] Liu Y S, Deng X S, Hu Y C. Rocky land degradation and poverty alleviation strategy in Guangxi karst mountainous are. *Journal of Mountain Science*, 2006, 24 (2): 228—233
- [20] Hu B Q, Jiang S F, Liao C M, *et al.* Tupu analysis on driving mechanism of Guangxi karst rocky desertification based on 3S techniques. *Journal of Mountain Science*, 2006, 24 (2): 234—241.
- [21] Wang B F, Jia B Q, Yang X H, *et al.* Effects of landuse types on restoration of desertified land in arid zone of China. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22 (12): 2030—2035.
- [22] Bai X Y, Xiong K N, Li Y B, *et al.* Quantitative research of the space dependence of different grades rocky desertification and the factor of population in karst mountain area. *Journal of Mountain Science*, 2006, 24 (2): 242—248.
- [23] Peng W X, Wang K L, Song G T Q, *et al.* Controlling and restoration models of complex degradation of vulnerable Karst ecosystem. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(2): 811—820.
- [24] Long J, Deng Q Q, Jiang X R, *et al.* Effects of landuse types on restoration of soil quality on karst rocky desertification region in Guizhou Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(12): 3188—3195.
- [25] Wang X L, Bao Y H. Study on the methods of land use dynamic change research. *Progress in Geography*, 1999, 18(1): 81—87.
- [26] Liu J Y, Bu Heasier. Study on spatial temporal feature of modern landuse change in China: using remote sensing techniques. *Quaternary Sciences*, 2000, 20 (3): 229—239.
- [27] Zhuang D F, Liu J Y. Study on the model of regional differentiation of land use degree in China. *Journal of Natural Resources*, 1997, 12 (2): 105—111.

参考文献:

- [5] 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. *山地学报*, 2007, 25(5): 566~676.
- [6] 蔡运龙. 自然地理学的创新视角. *北京大学学报(自然科学版)*, 2000, 36 (4): 576~582.
- [7] 张明阳, 王克林, 刘会玉, 等. 喀斯特区域景观格局随高程的分异特征. *生态学杂志*, 2008, 27(7): 1156~1160.
- [8] 张明阳, 王克林, 刘会玉, 等. 基于 RS 和 GIS 的喀斯特区域水土流失动态监测与分析——以广西环江县为例. *资源科学*, 2007, 29(3): 124~131.
- [9] 杨明德. 论喀斯特环境的脆弱性. *云南地理环境研究*, 1990, 2 (1): 21~29.
- [10] 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. *矿物岩石地球化学通报*, 2003, 22 (2): 120~126.
- [11] 冷疏影. 中国脆弱生态区可持续发展指标体系框架设计. *中国人口资源与环境*, 1999, 9 (2): 40~45.
- [12] 向昌国, 林华, 张平究, 等. 中国西南喀斯特生态环境与土壤生物初步研究. *资源科学*, 2004, 26(增刊): 98~103.

- [13] 吴玉鸣, 张燕. 西南岩溶区广西生态安全及资源利用效率. 生态学报, 2007, 27 (1): 0242 ~ 0249.
- [14] 蒋勇军, 袁道先, 谢世友, 等. 典型岩溶流域土壤有机质空间变异——以云南小江流域为例. 生态学报, 2007, 27 (5): 2040 ~ 2047.
- [15] 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. 水土保持通报, 2001, 21 (4): 1 ~ 5.
- [16] 王世杰. 喀斯特石漠化概念演绎及其科学内涵的探讨. 中国岩溶, 2002, 21 (2): 101 ~ 105.
- [17] 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. 北京: 地质出版社, 2002. 44 ~ 51.
- [18] 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. 地球与环境, 2005, 33 (z1): 581 ~ 587.
- [19] 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. 山地学报, 2006, 24 (2): 228 ~ 233.
- [20] 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. 山地学报, 2006, 24 (2): 234 ~ 241.
- [21] 王葆芳, 贾宝全, 杨晓晖, 等. 干旱区土地利用方式对沙漠化土地恢复能力的评价. 生态学报, 2002, 22 (12): 2030 ~ 2035.
- [22] 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. 山地学报, 2006, 24 (2): 242 ~ 248.
- [23] 彭晚霞, 王克林, 宋同清, 等. 喀斯特脆弱生态系统复合退化控制与重建模式研究. 生态学报, 2008, 28 (2): 811 ~ 820.
- [24] 龙健, 邓启琼, 江新荣, 等. 贵州喀斯特石漠化地区土地利用方式对土壤质量恢复能力的影响. 生态学报, 2005, 25 (12): 3188 ~ 3195.
- [25] 王秀兰, 包玉梅. 土地利用变化研究方法探讨. 地理科学进展, 1999, 18 (1): 81 ~ 87.
- [26] 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. 第四纪研究, 2000, 20 (3): 229 ~ 239.
- [27] 庄大方, 刘纪远. 中国土地利用程度的区域分异模型研究. 自然资源学报, 1997, 12 (2): 105 ~ 111.