

岩溶地区坡耕地时空动态变化及其生态服务功能评估

罗光杰^{1,2,4}, 王世杰^{1*}, 李阳兵³, 白晓永¹

(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, 贵阳 550002;

2. 贵州师范学院地理与旅游学院, 贵阳 550018; 3. 贵州师范大学地理与环境科学学院, 贵阳 550001;

4. 贵州师范学院农业生态与乡村发展研究所, 贵阳 550018)

摘要: 中国西南岩溶地区坡耕地受人类活动强烈作用, 生态问题突出, 定量评估其时空动态变化与生态服务功能, 对于区域石漠化治理、生态建设、扶贫开发都具有重要意义。该研究以贵州省为例, 利用 2000 年、2005 年、2010 年 3 a 多时相、多源遥感影像建立土地利用数据, 结合坡度、岩性、聚落、交通条件, 运用土地利用动态模型、综合热区域模型、生态服务价值模型, 对 2000 年以来贵州岩溶地区坡耕地时空动态变化及生态服务功能进行分析, 旨在弄清岩溶地区坡耕地时空动态变化的特征, 为坡耕地管理利用提供参考。结果表明: 1) 10 a 来贵州岩溶地区耕地资源减少 0.44 万 km², 80% 是坡耕地; 坡度 6°~15° 区域集中分布了最多的耕地资源; 随着坡度梯度增加, 坡耕地减少幅度增大, 分布比例大幅下降; 2) 岩溶地区坡耕地分布与基质岩性具有明显相关性, 灰岩地区坡耕地(尤其陡坡耕地)比例、数量规模明显高于白云岩地区; 白云岩地区坡耕地较多地分布在缓坡地带; 3) 空间上, 一方面, 10 a 来距聚落大于 900 m 地区成为坡耕地转出的主要区域, 但目前这一区域的陡坡耕地仍较多, 应加快其退耕步伐; 另一方面, 坡耕地退耕过程表现出明显的公路指向性, 在坡耕地转出土地距公路 500 m 内集中了近 30% 的坡耕地转出土地, 随着距离增加, 坡耕地转出土地的比例降低; 4) 贵州岩溶地区坡耕地转出形成了 2 个热点地区: 临长江的乌江下游遵义东北和铜仁、黔中高原面的贵阳和安顺市周边; 5) 2000 年以来贵州岩溶地区坡耕地退耕产生了良好的生态效应, 坡耕地转出土地生态系统的生态服务价值估算为 4399.81 万元/a。总之, 岩溶地区坡耕地 10 a 来变化显著, 生态效应明显, 但现存坡耕地的分类管理、高效利用仍任重道远。

关键词: 土地利用; 生态; 模型; 岩溶; 坡耕地; 热区域指数; 生态服务价值; 贵州省

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2014.11.029

中图分类号: S17; Q149

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2014)-11-0233-11

罗光杰, 王世杰, 李阳兵, 等. 岩溶地区坡耕地时空动态变化及其生态服务功能评估[J]. 农业工程学报, 2014, 30(11): 233-243.

Luo Guangjie, Wang Shijie, Li Yangbing, et al. Spatio-temporal dynamics and ecological service function assessment of slope farmland in Karst areas of Guizhou province, China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(11): 233-243. (in Chinese with English abstract)

0 引言

21 世纪以来, 以人类—环境耦合系统为核心的土地利用/土地覆盖动态过程的监测与模拟逐渐成为土地变化科学(land change science, LCS)的焦点问题^[1]。坡耕地作为人地系统耦合的结果, 在不同生态、历史条件下, 形成了具有明显时空差异的农业景观格局^[2]。在传统农耕时期和地区, 坡耕地

是保障粮食安全的重要资源; 而在发达地区, 农业机械化与现代化进程则导致坡耕地大量撂荒^[3]。当前, 中国农业用地正经历由传统粗放农耕到现代农业的转变^[4], 在 1.35 亿 hm² 耕地资源中, 坡耕地占 27%^[5], 其中东部地区以平地耕地资源为主, 15° 以上坡耕地较少^[6], 而在作为长江和珠江两大水系的重要生态屏障的中国西南地区, 坡耕地占耕地资源的比例高达 74.68%^[7], 坡耕地对于区域生态与食品安全、区域发展具有重要影响。因此, 在土地变化科学中加强坡耕地的研究具有重要意义。

在中国西南岩溶地区, 由于受自然条件和人类活动的影响, 生态易碎度强^[8], 以石漠化土地退化为主要表现的生态问题尤为突出^[9]。在这一地区, 由于坡耕地初始入渗率与稳定入渗率都明显低于其他土地利用类型, 水土流失发生速率快^[10], 加上长期高人口承载压力, 致使坡耕地成为导致石漠化

收稿日期: 2013-11-01 修订日期: 2014-03-31

基金项目: 国家 973 项目(2013CB956704); 国家自然科学基金项目(41261045); 教育部人文社科基金青年项目(11YJCZH120)

作者简介: 罗光杰(1986—), 男, 贵州仁怀人, 博士, 讲师, 主要从事农业生态与乡村发展、自然资源与区域开发方面研究。贵阳 贵州师范学院地理与旅游学院, 550018, Email: luoguangjie@gznc.edu.cn

*通信作者: 王世杰(1966—), 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事喀斯特生态环境研究。贵阳 中国科学院地球化学研究所, 550002。

Email: wangshijie@vip.skleg.cn

土地退化的主要土地覆盖类型^[11]。因此, 21 世纪以来, 在岩溶地貌类型与岩溶石漠化等级最具有代表性的贵州省^[12-14], 相继实施了退耕还林(草)、防护林(长江流域、珠江流域、重要城市周边)、石漠化综合治理等能对坡耕地利用方式产生重要影响的生态工程, 林地面积显著增加, 退耕还林还草政策成为驱动坡耕地变化的重要力量, 对区域土地覆盖状况的改善产生了积极的影响^[15-16]。十余年来, 在坡耕地上实施的各类生态工程开始发挥效益, 在各项生态工程(特别是石漠化专项工程)的综合治理下, 贵州石漠化恶化趋势得到遏制, 石漠化面积逐步减少, 等级逐渐降低, 对区域生态改善产生重要影响^[17]。但是, 目前为止, 对岩溶地区坡耕地的研究主要集中在对坡耕地水土流失与石漠化^[18-20]、各类型生态工程效益评估^[21-22]、石漠化治理模式^[23-24]等方面, 缺乏从时间尺度与空间尺度上分析坡耕地利用方式/覆盖类型动态特征与生态效益的研究。因此, 本研究利用遥感数据源, 结合基础地理信息数据, 从坡耕地时空动态变化入手, 选取影响坡耕地空间分布与动态变化的地质背景因子(岩性)、地形因子(坡度)、经济区位因子(交通通达性)、人地关系因子(聚落分布), 定量分析 2000 年以来岩溶地区坡耕地在坡度、岩性、聚落、交通等自然、社会经济因素影响下的动态变化特征, 尝试评估坡耕地时空动态变化的生态系统服务功能以表征其生态效益, 以期对岩溶地区生态建设与管理、土地管理宏观决策提供参考。

1 岩溶地区基本情况

贵州省地处中国西南部的云贵高原(103°36'~109°35'E、24°37'~29°13'N), 国土面积 17.6 万 km²。岩溶(出露)面积为 10.9 万 km², 占全省国土总面积的 61.9%, 是世界岩溶地貌最典型的地区之一(图 1)。贵州岩溶地区跨长江、珠江 2 大流域, 是流域上游的重要生态屏障。岩石组合类型可分为 3 大类: 连续性碳酸盐岩组合, 碳酸盐岩夹碎屑岩组合和碳酸盐岩与碎屑岩互层^[25], 包括岩溶峡谷、岩溶断陷盆地、岩溶高原、峰丛洼地、岩溶槽谷 5 种岩溶地貌类型, 岩溶石漠化土地面积 3.3 万 km², 占全省国土面积的 19%。贵州岩溶地区人口达 3540 万人, 占全省总人口的 93%, 较大的人口承载压力与特殊山地地形地貌条件叠加, 使坡耕地成为区域主要土地覆盖类型。

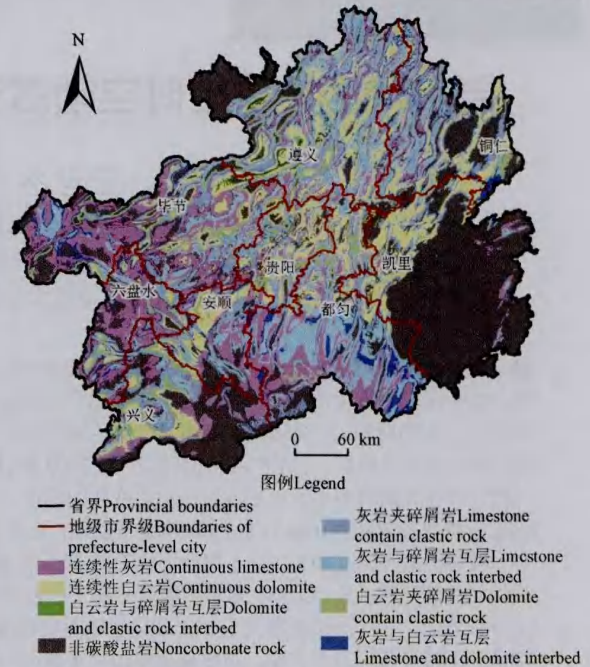


图 1 贵州省岩溶地区空间分布

Fig.1 Spatial distribution of karst area in Guizhou Province

2 数据处理与研究方法

2.1 数据来源与处理

1) 土地利用类型数据: 采用 2000 年、2005 年、2010 年的 Landsat TM 30 m 分辨率影像(来源于中国科学院国际科学数据服务平台, ISDSP), 影像时间为各年 1、4、7、10 月, 在合成假彩色影像后, 进行直方图匹配等预处理和拼接校正后, 运用 ArcGIS 9.3 平台进行人机交互解译(其中局部地区辅以当期 SPOT-5 2.5 m、ASTER 15 m、ALOS 2.5 m 影像和野外调查进行验证), 得到 2000 年、2005 年和 2010 年 3 a 土地利用类型矢量数据, 并提取耕地数据(图 2)。参照《土地利用现状》分类标准^[26], 结合影像分辨率特征、岩溶地区生态系统类型和土地利用现状, 将土地利用类型划分为旱地、水田、林地、灌木林地、草地、居民地、其他建设用地(交通、工矿等)、水体、未利用地 9 种类型。通过野外调绘、核实, 此次遥感解译精度在 90% 以上。

2) 基础地理信息数据: 利用 1:5 万数字高程模型(digital elevation model, DEM)建立 30 m 分辨率的坡度数据(精确到个位整数); 行政区划、4 级以上公路和岩性原始数据(shp 格式)来源于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, 经格式转换和投影变换等处理后, 得到投影方式相同的矢量数据。

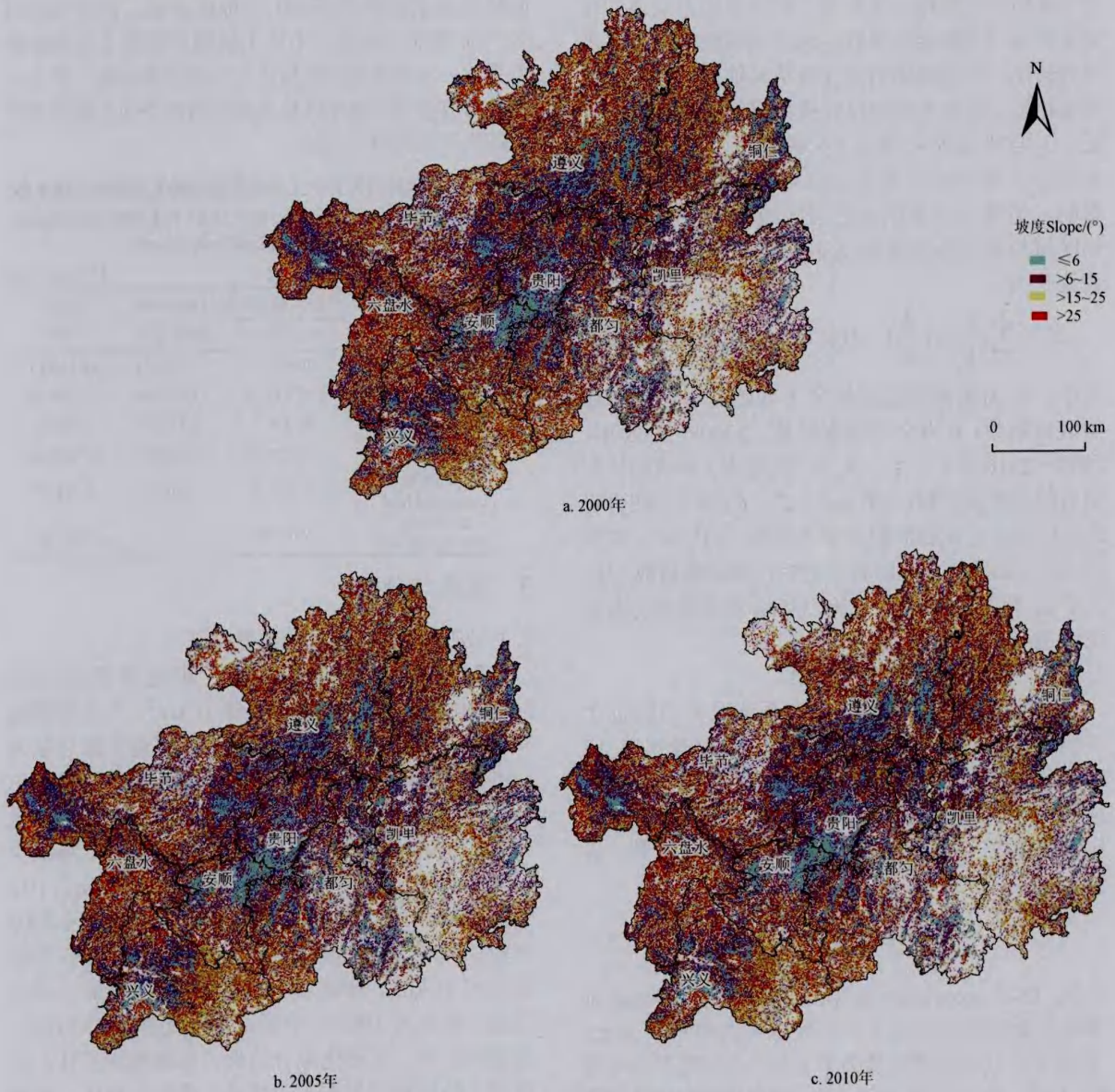


图 2 2000、2005、2010 年贵州省不同坡度梯度的耕地空间分布
 Fig.2 Spatial distribution of farmland at different gradients in Guizhou province in 2000, 2005 and 2010

2.2 研究方法

2.2.1 坡耕地数量动态变化

本研究定义的坡耕地指坡度 $\geq 6^\circ$ 的耕地，包括旱地和水田。根据《第二次全国土地调查技术规程》^[27]，结合岩溶地区地形地貌特征，将坡耕地坡度分为 3 个等级：缓坡（ $6^\circ \sim 15^\circ$ ）、陡坡（ $>15^\circ \sim 25^\circ$ ）、急陡坡（ $>25^\circ$ ）。表征坡耕地动态变化的量化指标分别为：面积， 10^2 hm^2 ；坡耕地动态度 K ，%/a；坡耕地比例，%。其中，坡耕地动态度（ K ）表达式为^[28]：

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

式中： K 为研究时段内坡耕地动态度，%/a； U_a 、 U_b 为研究时段期初和期末坡耕地的数量， 10^2 hm^2 ； T 为研究时段长（5 a）。由于本研究中 T 的时段设定为年，故 K 值就是岩溶地区研究时段内坡耕地的年变化率。

2.2.2 坡耕地空间动态变化

在 ArcGIS 9.3 中，运用叠加分析、缓冲区分析、邻域分析等工具，评价坡耕地空间动态变化与岩性、坡度、聚落、公路的关系。考虑到岩溶地区耕地空间分布与聚落具有明显相关关系^[29]，结合山区耕作半径特征^[30]，将坡耕地距最邻近聚落的距离分为 ≤ 300 、 $>300 \sim 600$ 、 $>600 \sim 900$ 、 $>900 \text{ m}$ 。通

过计算转出坡耕地（受政策、农村生计方式多元化因素影响，2000年以来岩溶地区坡耕地动态主要表现为转出，遥感解译结果没有从其他地类转入的新增坡耕地，因此本研究仅分析坡耕地的动态转出特征。）与研究区4级以上公路的邻域关系（搜索半径为2000m），分析公路对坡耕地动态变化的影响。另外，以乡镇为空间区域单元，运用综合热区域指数分析坡耕地动态变化的区域差异，其表达式为：

$$H_j = \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_b}{C_a} \right) / \left(\frac{A_b}{A_a} \right) \quad (C_a, C_b, A_b, A_a > 0) \quad (2)$$

式中： H_j 为贵州省岩溶地区 j 乡镇的坡耕地综合热区域指数； n 为2个研究时期（2000—2005年，2005—2010年）； A_a 、 A_b 为 i 时期内 j 乡镇期初和期末的坡耕地面积， 10^2 hm^2 ； C_a 、 C_b 为 i 时期内岩溶地区坡耕地期初面积与期末面积， 10^2 hm^2 。在本研究中，如果某乡镇的坡耕地综合热区域指数（ H_j ）大于2，则表示该乡镇为2000年以来坡耕地动态变化的热点区域。

2.2.3 生态系统服务功能评估

陆地表面生态系统的生态系统服务功能包含气候调节、侵蚀控制、养分循环、文化景观等17种类型^[31]。因此，本研究采用坡耕地转出为其他土地利用类型的生态服务功能来评价坡耕地动态变化的生态效应，采用生态服务价值将其量化^[32]。估算方法为：

$$ESV = \sum_{g=1}^m A_g VC_g \quad (3)$$

式中：ESV（ecosystem service value）为坡耕地转为其他土地利用类型的生态系统服务总价值，万元/（ $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ ）； A_g 为坡耕地转为第 g 种土地利用类型的面积， hm^2 ； VC_g 为生态价值系数，即单位面积坡耕地转为第 g 种土地利用类型的生态服务价值，万元/（ $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ ）。参考谢高地等^[33]实际调查修正的中国不同

陆地生态系统单位面积生态价值系数，结合张明阳等^[34]计算的岩溶地区不同土地利用类型生态服务价值系数，求得两者的均值作为生态价值系数（表1），用于估算贵州岩溶地区坡耕地转出的不同土地利用类型的生态系统服务价值。

表1 坡耕地转出为其他土地利用类型的生态服务价值系数
Table 1 Ecosystem service value (ESV) of land use change from slope farmland into others (元· $\text{hm}^2 \cdot \text{a}^{-1}$)

土地利用类型 Land use types	ESV 数据来源		均值 Mean
	张明阳等 ^[34]	Data from Xie et al. ^[33]	
林地 Forestland	20 984.72	11 735.57	16 360.15
灌木林地 Shrubland	17 839.24	8 302.96	13 071.10
草地 Grassland	10 338.51	4 870.35	7 604.43
水体 Water	17 070.84	18 926.32	17 998.58
未利用地 Unutilized land	6 762.36	580.10	3 671.23
建设用地 Construction land	9 614.58	0	4 807.29

3 结果与分析

3.1 坡耕地动态变化的数量特征

2000年，贵州岩溶地区耕地资源总量为 $3.58 \times 10^6 \text{ hm}^2$ （表2），约3.58万 km^2 ，占全省耕地资源总量的71.17%；非岩溶地区耕地资源总量为 $1.45 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ，约1.45万 km^2 ，占全省耕地资源总量的28.83%。2005年、2010年岩溶地区耕地总量为 3.34×10^6 、 $3.14 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ，2005年较2000年减少0.24万 km^2 ，2010年较2005年减少0.2万 km^2 ，10a来累计减少0.44万 km^2 ；相应地，非岩溶地区2005年较2000年减少0.1万 km^2 ，2010年较2005年减少0.07万 km^2 ，10a来累计减少0.17万 km^2 。由此可见，贵州省1999年开始的退耕还林、长江/珠江流域防护林、石漠化综合治理、水源地涵养林、城市周边防护林等生态工程建设，叠加工业化、城镇化、农业结构与农村生产生活方式变迁的影响，使耕地资源总量呈减少趋势。

表2 2000年、2005年、2010年贵州省岩溶地区与非岩溶地区耕地面积动态变化对比

Table 2 Comparative of the slope farmland area in Karst area and Non-karst area of Guizhou province in 2000, 2005 and 2010

地区 Area	坡度 Slope gradient	2000年		2005年		2010年	
		面积 Area/(10^2 hm^2)	比例 Proportion /%	面积 Area/(10^2 hm^2)	比例 Proportion /%	面积 Area/(10^2 hm^2)	比例 Proportion /%
岩溶区 Karst area	缓坡 Slight slope($6^\circ \sim 15^\circ$)	16 908.35	47.27	15 829.02	47.37	14 958.42	47.62
	陡坡 Steep slope ($>15^\circ \sim 25^\circ$)	6 815.41	19.05	6 181.13	18.50	5 666.95	18.04
	急陡坡 Sharp slope($>25^\circ$)	1 981.37	5.54	1 758.76	5.26	1 570.22	5.00
	坡耕地合计 Total slope farmland	25 705.13	71.86	23 768.91	71.12	22 195.59	70.67
非岩溶区 Non-Karst area	缓坡 Slight slope($6^\circ \sim 15^\circ$)	6 594.57	45.36	6 182.82	45.82	5 901.14	46.26
	陡坡 Steep slope ($>15^\circ \sim 25^\circ$)	4 367.83	30.05	3 988.73	29.56	3 739.00	29.31
	急陡坡 Sharp slope($>25^\circ$)	1 198.34	8.24	1 048.25	7.77	946.11	7.42
	坡耕地合计 Total slope farmland	12 160.74	83.65	11 219.79	83.16	10 586.26	82.98

注：比例是指各坡耕地面积占总耕地面积的百分比；2000、2005、2010年岩溶区总耕地面积为3 577 096、3 341 856、3 140 901 hm^2 ；2000、2005、2010年非岩溶区总耕地面积为1 453 736、1 349 238、1 275 763 hm^2 。

Note: Proportion is a percentage of each slope farmland in total farmland. Total farmland of karst area in 2000, 2005, and 2010 was 3 577 096, 3 341 856, 3 140 901 hm^2 , respectively; Total farmland of non-karst area in 2000, 2005, and 2010 was 1 453 736, 1 349 238, 1 275 763 hm^2 , respectively.

2000 年、2005 年、2010 年岩溶地区坡耕地比例均在 71% 左右, 非岩溶地区约 83%, 两者相差 12 个百分点, 非岩溶地区坡耕地比例明显大于岩溶地区。总量方面, 2000 年、2005 年、2010 年贵州岩溶地区 6° 以上坡耕地总面积分别为 2.57×10^6 、 2.38×10^6 、 2.22×10^6 hm^2 , 10 a 内减少 0.35 万 km^2 ; 3 个时期非岩溶地区坡耕地面积分别为 1.22×10^6 、 1.12×10^6 、 1.06×10^6 hm^2 , 2000 年来减少 0.16 万 km^2 。因此, 10 a 内岩溶地区减少的 0.44 万 km^2 耕地中 80% 为坡耕地, 而非岩溶地区减少的 0.17 万 km^2 耕地中坡耕地占比达到 94%。

分坡度来看, 2000 年、2005 年、2010 年缓坡坡度区内, 岩溶地区和非岩溶地区均集中分布最多的耕地资源, 坡耕地占该区耕地资源的比例均在 45% 以上, 但岩溶地区高于非岩溶地区; 同时, 岩溶地区该坡度 3 个时期坡耕地分别为 1.69×10^6 、 1.58×10^6 、 1.50×10^6 hm^2 , 10 a 内减少 0.19 万 km^2 , 非岩溶地区 10 a 内相应减少 0.07 万 km^2 。随着坡度梯度增加, 岩溶地区 3 个时期坡耕地的分布比例大幅下降, 幅度明显超过非岩溶地区。表现在: 陡坡坡度区, 2000 年、2005 年、2010 年非岩溶地区坡耕地所占比例高于岩溶地区 11、11.06、11.27 个百分点; 在急陡坡坡度区, 3 个时期非岩溶地区坡耕地所占比例仍高于岩溶地区 2.7、2.51、2.42 个百分点, 可见, 贵州非岩溶地区陡坡耕地比重明显高于岩溶地区, 在区域水土流失防治中应予以重视。

从坡耕地动态度来看 (图 3), 无论岩溶地区还是非岩溶地区, 2000—2005 年、2005—2010 年 2 个时段内, 总体上随着坡度增加, 坡耕地减少幅度增大, 陡坡的坡耕地动态度明显小于缓坡的坡耕地动态度, 而急陡坡的坡耕地动态度最小, 变幅最大, 说明 10 a 来实施的一系列退耕政策对陡坡耕地的退耕产生了重要影响。另外, 2005—2010 年岩溶地区和非岩溶地区几乎各坡度梯度的坡耕地动态度

都小于 2000—2005 年, 与 2005—2010 年退耕还林工程转为巩固阶段、强化基本农田保护、农业扶持政策实施等形成良好的对应; 另一方面, 受 2007 年以后国家启动岩溶地区石漠化综合治理工程的影响, 2005—2010 年非岩溶地区坡耕地的动态度绝对值明显小于岩溶地区。

总之, 10 a 来贵州岩溶地区耕地资源减少了 0.44 万 km^2 , 80% 是坡耕地; 非岩溶地区减少 0.17 万 km^2 , 94% 是坡耕地。岩溶地区缓坡地区集中分布了最多的耕地资源, 随着坡度梯度增加, 坡耕地的分布比例大幅下降, 坡耕地减少幅度增大, 一系列退耕政策的实施对陡坡耕的退耕产生重要影响。对比发现, 2 个时段非岩溶地区坡耕地比例较岩溶地区大 12 个百分点, 特别是陡坡耕地比重明显高于岩溶地区, 在区域水土流失防治中应予以重视。

3.2 坡耕地动态变化与岩性的关系

不同岩性地区 2000 年、2005 年、2010 年 6° 以上坡耕地占该岩性区耕地资源的比例从大到小依次为 (表 3): 灰岩碎屑岩互层 (78.4%、77.74%、77.33%)、连续性灰岩 (77.78%、77.17%、76.65%)、灰岩夹碎屑岩 (72.61%、72.06%、71.77%)、白云岩碎屑岩互层 (72.01%、71.54%、71.25%)、连续性白云岩 (65.09%、63.96%、62.97%)、灰岩白云岩互层 (62.65%、61.69%、61.33%)、白云岩夹碎屑岩 (58.33%、58.05%、58.36%)。由此可见, 岩溶地区坡耕地空间分布与基质岩性具有明显相关性, 灰岩地区坡耕地比重明显高于白云岩地区。坡度梯度方面 (图 4), 2000 年、2005 年、2010 年白云岩地区缓坡坡耕地比例最高, 其次为白云岩与灰岩互层地区, 灰岩地区最低; 而 15° 以上在灰岩地区比例最高、白云岩地区最低。说明白云岩地区坡耕地较多地分布在缓坡地带, 而灰岩地区陡坡耕地比例较白云岩地区大。

从动态来看 (表 3), 2000—2010 年灰岩地区 (连续性灰岩、灰岩夹碎屑岩、灰岩碎屑岩互层) 和白云岩地区 (连续性白云岩、白云岩夹碎屑岩、白云岩碎屑岩互层) 耕地资源分别减少 0.30×10^6 、 0.13×10^6 hm^2 , 10 a 来灰岩地区坡耕地减少的规模明显大于白云岩地区。坡度梯度方面, 灰岩地区缓坡、陡坡、急陡坡 3 个坡度梯度内, 10 a 来坡耕地分别减少 0.13、0.08、0.03 万 km^2 , 减少率为 11.47%、16.58%、20.39%; 相应地, 在白云岩地区缓坡、陡坡、急陡坡 3 个坡度梯度内坡耕地 10 a 减少率为 11.79%、17.97%、22.80%。一方面, 受退耕还林、防护林建设、经济林建设等工程影响, 灰岩地区与白云岩地区 15° 以上坡耕地 10 a 来退耕比例明显大

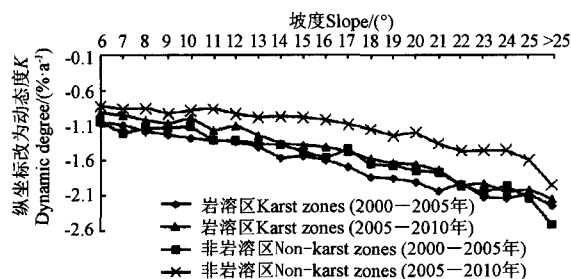


图 3 2000—2005 年和 2005—2010 年 2 个时段内贵州省岩溶区与非岩溶区坡耕地动态度

Fig.3 Dynamic degree of slope farmland in Karst area and non-karst area of Guizhou province during period of 2000-2005 and 2005-2010

于缓坡地带；另一方面，由于白云岩地区陡坡立地条件（如土层厚度、保水保土能力等）较灰岩地区

差，故随着坡度梯度的提高，白云岩地区坡耕地的减少率高于灰岩地区的幅度逐渐增大。

表 3 贵州省岩溶地区各岩性区坡耕地面积
Table 3 Influence of lithology on slope farmland of Karst area of Guizhou province

年份 Year	耕地 Farmland	连续性灰岩 Continuous Limestone	灰岩夹 碎屑岩 Limestone contain clastic rock	灰岩碎屑 岩互层 Limestone and clastic rock interbed	连续性 白云岩 Continuous dolomite	白云岩夹碎 屑岩 Dolomite contain clastic rock	白云岩碎 屑岩互层 Dolomite and clastic rock interbed	灰岩与 白云岩互层 Limestone and dolomite interbed
2000	总量 Total	8 758.43	7 109.40	7 884.52	7 071.18	3 763.73	105.11	1 078.59
	缓坡 Slight slope (6°~15°)	4 302.19	3 424.76	3 869.40	3 177.92	1 627.65	48.94	457.50
	陡坡 Steep slope (>15°~25°)	1 847.00	1 371.73	1 807.66	1 131.09	464.57	20.81	172.55
	急陡坡 Sharp slope(>25°)	663.07	365.89	504.07	293.63	103.07	5.94	45.71
	坡耕地比例 Percentage of slope farmland in total farmland/%	77.78	72.61	78.40	65.09	58.33	72.01	62.65
	2005	总量 Total	8 201.11	6 666.99	7 260.34	6 556.75	3 608.43	101.54
缓坡 Slight slope (6°~15°)		4 045.96	3 219.20	3 580.20	2 947.66	1 557.48	47.48	431.04
陡坡 Steep slope (>15°~25°)		1 687.63	1 257.62	1 620.27	996.87	440.29	19.94	158.49
急陡坡 Sharp slope(>25°)		595.11	327.11	443.70	248.89	96.91	5.23	41.81
坡耕地比例 Percentage of slope farmland in total farmland/%		77.17	72.06	77.74	63.96	58.05	71.54	61.69
2010		总量 Total	7 718.96	6 315.72	6 763.53	6 102.45	3 437.63	98.50
	缓坡 Slight slope (6°~15°)	3 836.99	3 065.48	3 364.35	2 739.35	1 496.86	46.15	409.24
	陡坡 Steep slope (>15°~25°)	1 550.93	1 170.33	1 471.52	889.16	417.87	19.01	148.12
	急陡坡 Sharp slope(>25°)	528.67	297.17	394.61	214.36	91.47	5.02	38.91
	坡耕地比例 Percentage of slope farmland in total farmland/%	76.65	71.77	77.33	62.97	58.36	71.25	61.33

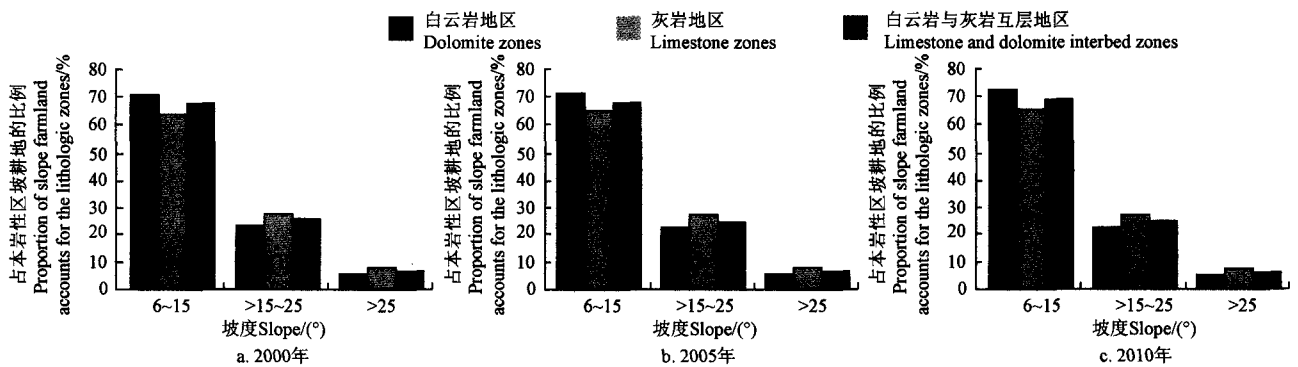


图 4 2000 年、2005 年、2010 年贵州省各岩性区不同坡度坡耕地占本岩性区坡耕地的比例

Fig.4 Percentage of slope farmland with different slopes in each lithologic zones of Guizhou province in 2000,2005 and 2010

3.3 坡耕地空间动态分布与聚落的关系

2000年、2005年、2010年3个时期距聚落300 m内坡耕地数量最低，分别为 0.37×10^6 、 0.36×10^6 、 0.34×10^6 hm^2 （表4），而 $>300 \sim 900$ m 梯度内坡耕地总量与 >900 m 梯度的坡耕地总量相当。从各坡度梯度来看， $6^\circ \sim 15^\circ$ 、 $>15^\circ \sim 25^\circ$ 、 $>25^\circ$ 距聚落大于 900 m 区域 10 a 来坡耕地累计分别减少

9.45、6.02、2.32 万 hm^2 ，缩减规模均较其他距离梯度大。在 25° 以上，3 个时期距聚落 >900 m 区域的坡耕地分别为 10.43、9.18、8.11 万 hm^2 ，均高于同坡度距聚落 ≤ 900 m 区域的坡耕地之和，说明空间上，距聚落较远的地区陡坡耕地较多，其耕作成本非常高，耕作方式粗放，土地利用效率低，生产成本高，生态负效应大，应加快其退耕步伐。

表 4 距聚落 0~900 m 不同缓冲区内坡耕地分布情况
Table 4 Distribution of slope farmland in different settlement buffer zones (0-900 m)

年份 Year	距离 Distance/m	面积 Area			合计 Total
		缓坡 Slight slope 6°~15°	陡坡 Steep slope >15°~25°	急陡坡 Sharp slope >25°	
		10 ² hm ²			
2000	≤300	2 688.29	861.35	196.41	3 746.05
	>300~600	3 699.25	1 353.31	342.54	5 395.10
	>600~900	3 596.24	1 444.35	400.04	5 440.63
	>900	6 926.87	3 157.54	1 042.51	11 126.92
2005	≤300	2 571.44	811.51	180.59	3 563.54
	>300~600	3 494.05	1 238.06	304.74	5 036.85
	>600~900	3 362.44	1 305.68	355.30	5 023.42
	>900	6 401.09	2 825.88	918.12	10 145.09
2010	≤300	2 467.03	770.35	168.34	3 405.72
	>300~600	3 326.53	1 146.25	275.35	4 748.13
	>600~900	3 182.86	1 194.36	315.88	4 693.10
	>900	5 982.00	2 555.99	810.66	9 348.65

3.4 坡耕地转出时空动态分析

2000—2005 年贵州岩溶地区坡耕地转为其他地类的面积为 19.36 万 hm², 2005—2010 年为 15.73 万 hm², 前 5 a 明显多于后 5 a (表 5)。转出地类方面, 2000 年以来, 一系列生态工程的实施导致坡耕地多转出为林地和草地, 总量分别达 19.49、13.58 万 hm²; 工业化、城镇化步伐加快使不少坡耕地转出为建设用地, 前后 2 个时段分别为 0.02、0.08 万 hm²; 岩

溶地区大量小山塘、小水窖及部分水利工程建设使水域成为坡耕地转出的重要地类, 10 a 达 0.31 万 hm²; 此外, 由于农业结构调整、弃耕撂荒导致 10 a 内 0.49 万 hm² 坡耕地转出为灌木林地。

空间上, 2000—2005 年距公路 (4 级以上) 大于 2 000 m 梯度, 坡耕地转为其他地类的比例为 29.3%, 2005—2010 年为 28.52% (图 5), 相应地, 距公路 2 000 m 以内比例分别为 70.7% 和 71.48%, 表明 10 a 来坡耕地退耕主要发生在公路沿线。在距公路 2 000 m 内的区域, 10 a 以来在 500 m 内集中了近 30% 的坡耕地转出土地, 随着距离增加, 坡耕地转出为其他地类的比例减少, 说明 10 a 来坡耕地退耕过程表现出明显的公路指向性, 即距公路 500 m 内, 坡耕地退耕的比例较高, 随着距离增加, 坡耕地退耕比例降低。在坡耕地转出土地与聚落关系方面, 距聚落 900 m 以内, 各梯度 2 个时段内坡耕地转出土地的比例相当, 900 m 以外, 坡耕地转出土地的比例接近 40%, 表明微观上, 距聚落大于 900 m 的地区是坡耕地转出的主要区域。

在宏观空间上 (图 6), 2000 年以来, 贵州岩溶地区坡耕地转出综合热区域指数 (H_j) 大于 2 的乡镇主要集中在临长江的乌江下游遵义东北、铜仁地区, 以及黔中高原面的贵阳、安顺市周边地区, 形成了 2 个坡耕地转出的热区域。2 个热区域的形成与区域生态建设背景密切关联, 前者以保障长江流域生态安全为重点, 后者以提高城市生态功能为重点。

表 5 坡耕地转出为其他土地覆盖类型的数量
Table 5 Area of land use changed from slope farmland

时段/年 Period/Year	林地 Forestland	灌木林地 Shrubland	草地 Grassland	水体 Water	未利用地 Unutilized land	居住地 Residential land	其他建设用地 Other construction land	合计 Total
2000—2005	1 099.99	19.35	756.64	20.16	0.03	38.14	1.91	1936.22
2005—2010	849.24	29.71	601.36	10.46	0.39	74.05	8.13	1573.34
合计 Total	1949.23	49.07	1 358.00	30.62	0.43	112.18	10.03	

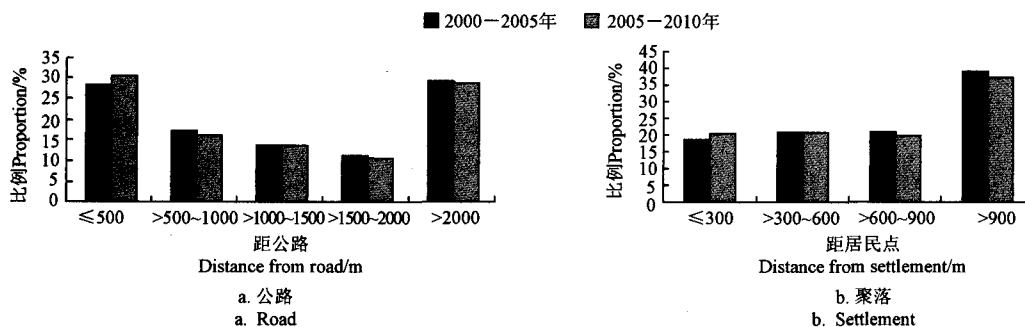
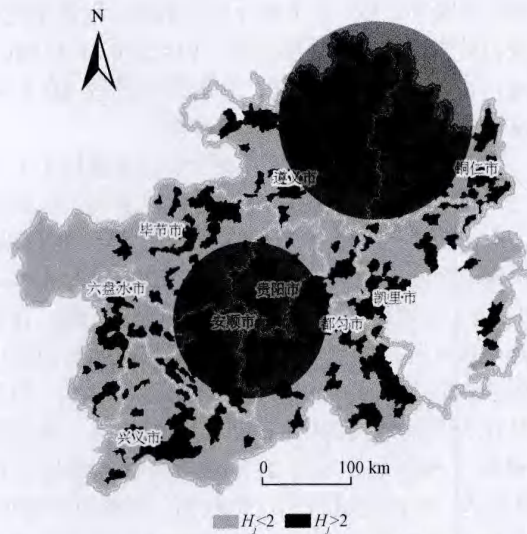


图 5 2000 年以来转出坡耕地与公路、聚落的空间关系

Fig.5 Spatial relationship between land use converted from slope farmland and road and settlement since 2000



注: H_j 为综合热区域指数; 图中圆圈位置表示 $H_j > 2$ 集中地区; 本研究无 $H_j = 2$ 。

Note: H_j as integrated hot-spot index, circles positions as centers about $H_j > 2$ aggregated distribution and no $H_j = 2$ in the study

图6 坡耕地转出综合热区域指数

Fig.6 Integrated hot-spot index of land changes from slope farmland

3.5 坡耕地动态转出的生态服务功能评估

2000—2010年贵州岩溶地区坡耕地转出为林地、灌木林地、草地、水体、未利用地、建设用地的生态服务价值分别为: 3 188.97、64.13、1 032.68、55.12、0.16、58.75 万元/a, 坡耕地转出土地生态系统的生态服务价值 (ecosystem service value, ESV) 为 4 399.81 万元/a (表6), 说明坡耕地退耕产生了良好的生态效应。

表6 贵州岩溶地区2000—2010年坡耕地转为不同土地利用类型的生态服务价值(ESV)

Table 6 Ecosystem service value (ESV) of land use changes from slope farmland to others in Karst area of Guizhou province in 2000-2010

土地利用类型 Land use types	生态价值系数 Coefficient of ecosystem service value/ (元·hm ² ·a ⁻¹)	面积 Area/ (10 ³ hm ²)	生态服务价值 ESV/ (万元·a ⁻¹)	总生态服务价值 Total ESV/ (万元·a ⁻¹)
林地 Forestland	16 360.15	1 949.23	3 188.97	
灌木林地 Shrubland	13 071.1	49.07	64.13	
草地 Grassland	7 604.43	1 358	1 032.68	
水体 Water	17 998.58	30.62	55.12	4 399.81
未利用地 Unutilized land	3 671.23	0.43	0.16	
建设用地 Construction land	4 807.29	122.22	58.75	

4 讨论

尽管2000年以来贵州岩溶地区通过一系列生态工程, 25°以上坡耕地得到退耕, 在控制水土流失与石漠化土地退化方面取得了一定的成效, 但同时应看到, 研究区仍有大量的陡坡耕地存在, 应考虑岩溶地区陡坡耕地退耕的重要生态价值, 加大退耕还林还草、石漠化治理、植被恢复、流域生态建设、生态移民、城镇化等工程与政策的力度, 尽早实现全区域陡坡耕地退耕以及缓坡耕地的高效、生态化利用。

基岩类型对坡耕地分布的影响是不能忽视的。灰岩地区由于岩溶作用发育的裂隙、管道、微负地形较好, 为水、肥、土等物质提供了较好的储存条件, 作物生长条件好, 故灰岩地区坡耕地比重和数量规模明显高于白云岩地区, 其陡坡耕地的退耕速率低于白云岩地区; 而白云岩地区岩溶过程空间分布均匀, 导致表土厚度较灰岩地区更加均匀, 且随坡度增加, 土层变薄, 导致白云岩地区坡耕地较多地分布在缓坡地带, 而灰岩地区陡坡耕地比例较白云岩地区大。

从坡耕地转出的空间特征来看, 2000年以来贵州岩溶地区坡耕地退耕过程微观上集中在公路沿线, 宏观上主要布局在临长江的乌江下游遵义东北、铜仁和黔中高原面的贵阳、安顺市周边2个热点地区, 这种坡耕地转出动态格局反映了坡耕地退耕过程在政策导向性作用下的地域性差异。集中于公路沿线的退耕过程在保持水土和改善景观的同时, 也方便了退耕工程的实施与监管; 2个坡耕地转出热点地区在保障长江流域生态安全、改善城市周边生态质量方面产生了重要作用。当然, 据此也可认为, 在贵州岩溶地区, 未来在远离地区主干公路的山区以及广大西部非热点地区坡耕地退耕存在较大的潜力。

本研究仅参照有关文献, 选用生态服务价值来度量坡耕地动态变化的生态服务功能。尽管生态服务价值是衡量地表生态系统生态效应的一个综合性指标, 但对于岩溶地区而言, 坡耕地转出生态类土地往往具有较高的水土保持功能和碳累积效应, 其宏微观的准确计量是今后进一步研究的重点领域。

5 结论

利用遥感和地理信息系统技术, 在多源、多时相地理信息数据的基础上, 运用土地利用动态模型、综合热区域模型、生态服务价值模型, 对2000年以来贵州岩溶地区坡耕地时空动态变化及生态

服务功能进行了评估与分析, 主要得到以下结论:

1) 10 a 来贵州岩溶地区耕地资源减少 0.44 万 km², 80% 是坡耕地; 非岩溶地区减少 0.16 万 km², 94% 是坡耕地。岩溶地区 6°~15° 集中分布了最多的耕地资源, 随着坡度梯度增加, 坡耕地的分布比例大幅下降, 坡耕地减少幅度增大。

2) 岩溶地区坡耕地空间分布与基质岩性具有明显相关性, 灰岩地区坡耕地比重和数量规模明显高于白云岩地区; 白云岩地区坡耕地较多地分布在缓坡地带, 而灰岩地区陡坡耕地比例较白云岩地区大; 10 a 来灰岩地区坡耕地退耕的规模明显大于白云岩地区, 但陡坡耕的退耕速率低于白云岩地区。

3) 2000 年以来, 坡耕地转出地类规模大小依次为林地、草地、居住地、灌木林地、水体、其他建设用地、未利用地。空间上, 一方面, 较陡坡耕地在空间上往往布局于距聚落较远的地区, 尽管 2000 年以来距聚落大于 900 m 地区坡耕地转出土地的比例接近 40%, 成为坡耕地转出的主要区域, 但目前这一区域的陡坡耕地仍较多, 应加快其退耕步伐; 另一方面, 坡耕地退耕过程表现出明显的公路指向性, 在坡耕地转出土地距公路 500 m 内集中了近 30% 的坡耕地转出土地, 随着距离增加, 坡耕地转出土地的比例降低。2000 年以来, 贵州岩溶地区坡耕地转出形成了临长江的乌江下游遵义东北、铜仁和黔中高原面的贵阳、安顺市周边 2 个热点地区。

4) 2000 年以来贵州岩溶地区坡耕地退耕产生了良好的生态效应, 坡耕地转出土地生态系统的生态服务价值估算为 4399.81 万元/a。

【参 考 文 献】

- [1] Turner B L, Lambin E F, Reenberg A. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability[J]. PNAS, 2007, 104(52): 20666—20671.
- [2] Benjamin K, Domon G, Bouchard A. Vegetation composition and succession of abandoned farmland: Effects of ecological, historical and spatial factors[J]. Landscape Ecology, 2005, 20(6): 627—647.
- [3] López-Vicente M, Lana-Renault N, García-Ruiz J M, et al. Assessing the potential effect of different land cover management practices on sediment yield from an abandoned farmland catchment in the Spanish Pyrenees[J]. Journal of Soils and Sediments, 2011, 11(8): 1440—1455.
- [4] 刘彦随, 郑伟元. 中国土地可持续利用论[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [5] 国土资源部, 国家统计局. 关于第二次全国土地调查主要数据成果的公报[EB/OL]. 2013-12-30[2014-03-15]. http://www.mlr.gov.cn/zwgk/zytz/201312/t20131230_1298865.htm. The Ministry of Land and Resources of the PRC, The National Bureau of Statistics of the PRC. The main data bulletin about the second national land survey[EB/OL]. 2013-12-30[2014-03-15]. http://www.mlr.gov.cn/zwgk/zytz/201312/t20131230_1298865.htm. (in Chinese)
- [6] Xu F, Zhang W, Li H. Landscape pattern analysis of farmland under different slope[C]//Agro-Geoinformatics (Agro-Geoinformatics), 2013 Second International Conference on. IEEE, 2013: 352—355.
- [7] 谢俊奇. 中国坡耕地[M]. 北京: 中国大地出版社, 2005.
- [8] Yan D X. Rock Desertification in the subtropical Karst of South China[J]. Zeitschrift für Geomorphologie, 1997, 108: 81—90.
- [9] Wang S J, Liu Q M, Zhang D F. Karst rocky desertification in southwestern China: Geomorphology, landuse, impact and rehabilitation[J]. Land Degradation & Development, 2004, 15(2): 115—121.
- [10] 张治伟, 朱章雄, 王燕, 等. 岩溶坡地不同利用类型土壤入渗性能及其影响因素[J]. 农业工程学报, 2010, 26(6): 71—76. Zhang Zhiwei, Zhu Zhangxiong, Wang Yan, et al. Soil infiltration capacity and its influencing factors of different land use types in Karst slope[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(6): 71—76. (in Chinese with English abstract)
- [11] 李阳兵, 罗光杰, 程安云, 等. 黔中高原面石漠化演变典型案例分析——以普定后寨河地区为例[J]. 地理研究, 2013, 32(5): 828—838. Li Yangbing, Luo Guangjie, Cheng Anyun, et al. A typical case study on evolution of karst rocky desertification in Houzhaihe, Puding County, central Guizhou Province, China[J]. Geographical Research, 2013, 32(5): 828—838. (in Chinese with English abstract)
- [12] 曹建华, 袁道先, 裴建国, 等. 受地质条件制约的中国西南岩溶生态系统[M]. 北京: 地质出版社, 2005.
- [13] 王世杰, 张信宝, 白晓永. 南方喀斯特石漠化分区的名称商榷与环境特点[J]. 山地学报, 2013, 31(1): 18—24. Wang Shijie, Zhang Xinbao, Bai Xiaoyong. Discussion on nomenclature of the Karst desertification regions and illustration for their environment characteristics in southwest China[J]. Journal of Mountain Science, 2013, 31(1): 18—24. (in Chinese with English abstract)
- [14] 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[J]. 地理学报, 2006, 61(6): 624—632. 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. (in Chinese with English abstract)
- [15] Chen R, Ye C, Cai Y, et al. Integrated restoration of small watershed in Karst regions of southwest China[J]. AMBIO: A Journal of the Human Environment, 2012, 41(8): 1—6.
- [16] 刘纪远, 张增祥, 徐新良, 等. 21 世纪初中国土地利用变化的空间格局与驱动力分析[J]. 地理学报, 2009, 64(12): 1411—1420. Liu Jiuyan, Zhang Zengxiang, Xu Xinliang, et al. Spatial

- patterns and driving forces of land use change in China in the early 21st century[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(12): 1411—1420. (in Chinese with English abstract)
- [17] 陈起伟, 熊康宁, 兰安军. 生态工程治理下贵州喀斯特石漠化的演变[J]. *贵州农业科学*, 2013, 41(7): 195—199. Chen Qiwei, Xiong Kangning, Lan Anjun. Karst rocky desertification evolution of Guizhou under ecological controlling project[J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2013, 41(7): 195—199. (in Chinese with English abstract)
- [18] 张信宝, 王世杰, 曹建华, 等. 西南喀斯特山地水土流失特点及有关石漠化的几个科学问题[J]. *中国岩溶*, 2010, 29(3): 274—279. Zhang Xinbao, Wang Shijie, Cao Jianhua, et al. Characteristics of water loss and soil erosion and some scientific problems on Karst rocky desertification in Southwest China Karst area[J]. *Carsologica Sinica*, 2010, 29(3): 274—279. (in Chinese with English abstract)
- [19] 凡非得, 王克林, 熊鹰, 等. 西南喀斯特区域水土流失敏感性评价及其空间分异特征[J]. *生态学报*, 2011, 31(21): 6353—6362. Fan Feide, Wang Kelin, Xiong Ying, et al. Assessment and spatial distribution of water and soil loss in karst regions, southwest China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(21): 6353—6362. (in Chinese with English abstract)
- [20] 李阳兵, 白晓永, 邱兴春, 等. 喀斯特石漠化与土地利用相关性研究[J]. *资源科学*, 2006, 28(2): 67—73. Li Yangbing, Bai Xiaoyong, Qiu Xingchun, et al. The correlation analysis of desertification of Karst rock and land use patterns[J]. *Resources Science*, 2006, 28(2): 67—73. (in Chinese with English abstract)
- [21] 李昊, 蔡运龙, 陈睿山, 等. 基于植被遥感的西南喀斯特退耕还林工程效果评价——以贵州省毕节地区为例[J]. *生态学报*, 2011, 31(12): 3255—3264. Li Hao, Cai Yunlong, Chen Ruishan, et al. Effect assessment of the project of grain for green in the karst region in Southwestern China: A case study of Bijie Prefecture[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(12): 3255—3264. (in Chinese with English abstract)
- [22] 杨小青, 胡宝清, 曹少英. 喀斯特山区石漠化生态治理效益模糊综合评价——以广西都安瑶族自治县为例[J]. *生态与农村环境学报*, 2008, 24(2): 22—26. Yang Xiaoqing, Hu Baoqing, Cao Shaoying. Analysis of effect of ecological management of rocky desertification in Karst regions based on fuzzy comprehensive evaluation model: A case study of ducan county in Guangxi[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2008, 24(2): 22—26. (in Chinese with English abstract)
- [23] 熊康宁, 李晋, 龙明忠. 典型喀斯特石漠化治理区水土流失特征与关键问题[J]. *地理学报*, 2012, 67(7): 878—888. Xiong Kangning, Li Jin, Long Mingzhong. Features of soil and water loss and key issues in demonstration areas for combating Karst rocky desertification[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(7): 878—888. (in Chinese with English abstract)
- [24] 梁亮, 刘志霄, 张代贵, 等. 喀斯特地区石漠化治理的理论模式探讨[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(3): 595—600. Liang Liang, Liu Zhixiao, Zhang Daigui, et al. Theoretical model for rocky desertification control in Karst area[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(3): 595—600. (in Chinese with English abstract)
- [25] 李瑞玲, 王世杰, 周德全, 等. 贵州岩溶地区岩性与土地石漠化的相关分析[J]. *地理学报*, 2003, 58(2): 314—320. Li Ruiling, Wang Shijie, Zhou Dequan, et al. The correlation between rock desertification and lithology in Karst area of Guizhou[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(2): 314—320. (in Chinese with English abstract)
- [26] 陈百明, 周小萍. 《土地利用现状分类》国家标准的解读[J]. *自然资源学报*, 2007, 22(6): 994—1003. Chen Baiming, Zhou Xiaoping. Explanation of current land use condition classification for national standard of the people's republic of China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2007, 22(6): 994—1003. (in Chinese with English abstract)
- [27] TDT 1014—2007. 第二次全国土地调查技术规程[S].
- [28] 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—87. Wang Xiulan, Bao Yuhai. Study on the methods of land use dynamic change research[J]. *Progress in Geography*, 1999, 18(1): 81—87. (in Chinese with English abstract)
- [29] 罗光杰, 李阳兵, 谭秋, 等. 岩溶山区聚落格局变化及其LUCC响应分析——以贵州省为例[J]. *资源科学*, 2010, 32(11): 2130—2137. Luo Guangjie, Li Yangbing, Tan Qiu, et al. Analysis of changes in settlement patterns and its lucc response in karst mountainous areas: A case on Guizhou province[J]. *Resources Science*, 2010, 32(11): 2130—2137. (in Chinese with English abstract)
- [30] 角媛梅, 胡文英, 速少华, 等. 哀牢山区哈尼聚落空间格局与耕作半径研究[J]. *资源科学*, 2006, 28(3): 66—72. Jiao Yuanmei, Hu Wenying, Su Shaohua, et al. Spatial pattern and farming radius of Hani's settlements in Ailao mountain using GIS[J]. *Resources Science*, 2006, 28(3): 66—72. (in Chinese with English abstract)
- [31] Robert Costanza, Ralph d'Arge, Rudolf de Groot, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature*, 1997, 387(6630): 253—260.
- [32] 贾晓娟, 常庆瑞, 薛阿亮, 等. 黄土高原沟壑区退耕还林生态效应评价[J]. *水土保持通报*, 2008, 28(3): 182—185. Jia Xiaojuan, Chang Qingrui, Xue Aliang, et al. Ecological effects of returning farmland to forest land in the loess gully and hilly region[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2008, 28(3): 182—185. (in Chinese with English abstract)
- [33] Xie Gadi, Zhen Lin, Lu Chunxia, et al. Applying value transfer method for eco-service valuation in China[J]. *Journal of Resources and Ecology*, 2010, 1(1): 51—59.
- [34] 张明阳, 王克林, 陈洪松, 等. 喀斯特生态系统服务功能遥感定量评估与分析[J]. *生态学报*, 2009, 29(11): 5891—5901. Zhang Mingyang, Wang Kelin, Chen Hongsong, et al. Quantified evaluation and analysis of ecosystem services in Karst areas based on remote sensing[J]. *Acta*

Spatio-temporal dynamics and ecological service function assessment of slope farmland in Karst areas of Guizhou province, China

Luo Guangjie^{1,2,4}, Wang Shijie^{1*}, Li Yangbing³, Bai Xiaoyong¹

(1. National Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Geochemistry Institute of Chinese Academy of Science, Guiyang 550002, China; 2. School of Geography and Tourism, Guizhou Normal College, Guiyang 550018, China; 3. School of Geographic and Environmental Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China; 4. Agricultural Ecology and Rural Development Institute, Guizhou Normal College, Guiyang, 550018, China)

Abstract: Slope farmland is strongly affected by human activity in karst areas of southwest China, which leads to prominent ecological problems. Quantitative evaluation of spatial-temporal dynamics and ecological service function of slope farmland in Karst areas of southwest China can be of significance in desertification control and ecological recovery, poverty alleviation and community development. Based on land-use data obtained from multi-temporal and multi-source remote sensing images in the years of 2000, 2005 and 2010, and with the consideration of slope gradient, lithology, settlements and transportation conditions, this study used the land-use dynamic model, integrated Hot-spot area model and the model of value ecosystem services to study spatial-temporal dynamics and ecological service function of slope farmland since 2000 in the Karst areas of Guizhou province (103°36'-109°35'E, 24°37'-29°13'N), China. The results showed that the farmland of 4.4 thousand km² had been reduced in the Karst area since year 2000, and about 80% of the lost farmland was from the slope area. The most farmland was distributed in the slope gradient from 6° to 15°. With slope gradient increasing, the percentage of slope farmland was reduced significantly. In addition, the spatial dynamics of slope farmland was correlated with the types of soil parent geological materials in Karst areas. The proportion and quantity of land loss in the slope farmland derived from limestone, especially steep slope farmland, was significantly higher ($P < 0.05$) than the land in dolomite areas. There was more slope farmland distributed in slight slope of dolomite areas. Moreover, for the space distribution, the steep slope farmland was often located in areas far away from the settlements with most slope farmland located in the areas >900 m away from settlements. For these areas, changing land use should be accelerated in order to conserve the soils and vegetation. Also, road for automobiles had a strong impact on the process of land use change from agriculture in the slope farmland. About 30% of land in the areas <500 m away from the automobile road had been changed into other land uses rather than traditional agriculture from slope farmland. With the increase in distance away from the road, less land use changes in the slope farmland were observed. Two hotspots in northeast Zunyi and Tongren were Wujiang catchment closing the Yangtze River, and Guiyang and Anshun cities in Guizhou plateau, where land use was changed from traditional agriculture to other land uses in the slope farmland of Karst areas, Guizhou province. Finally, since 2000, land use change in the slope farmland from agricultural use had produced good ecological effects in Karst areas. The ecological services value (ESV) of the land use change in the slope farmland was estimated to be RMB 43,998,100 yuan /yr. In short, slope farmland in karst area has changed greatly in recent decades and its ecological effect is obvious.

Key words: land use; ecology; models; karst; slope farmland; hot-spot area index (HI); ecosystem services; guizhou province