

# 基于微空间单元的岩溶峡谷区土地利用结构演变

李珊珊<sup>1</sup>, 李阳兵<sup>1</sup>, 王萌萌<sup>1</sup>, 罗光杰<sup>2</sup>

(1. 贵州师范大学地理与环境科学学院, 贵阳 550001;

2. 贵州师范学院贵州省流域地理国情监测重点实验室, 贵阳 550018)

**摘要:** 采用2004年、2010年和2015年分辨率均为2.5 m的SPOT等遥感影像和社会经济数据, 创建200 m×200 m网格的微空间单元, 计算单元网格内地类面积占比、土地利用程度综合指数, 并结合双变量局部空间自相关和热点分析法, 深入研究岩溶峡谷区土地利用结构演变特征。结果表明:(1)2004年林地、耕地、聚落和裸岩裸土网格内平均占比分别为6.46%、11.76%、0.87%、28.86%, 2010年分别为10.36%、8.77%、1.27%、27.13%, 2015年分别为9.13%、10.30%、26.18%、1.29%;(2)各种土地利用类型在空间分布上具有明显的空间差异特征;(3)耕地热点区呈减少趋势, 且后期主要集中在研究区西南部, 林地热点区总体增加, 裸岩裸土极热点区逐渐向研究区东北部收缩。而近几年土地利用程度热点区逐渐向研究区西北部延伸, 花椒林则主要分布于北部干热河谷地带。简而言之, 花江峡谷区林地面积增加, 且逐渐向集中连片演变, 而裸岩地逐渐向峡谷区北部以及东北部收缩, 研究区农户生计多样化发展及交通条件的改善, 使得土地压力减小, 生态环境逐渐转好。本文以典型岩溶地貌单元为代表, 揭示中国西南岩溶山地的土地利用演变规律及内部差异性, 对研究更大尺度土地利用演变特征与规律具有重要意义。

**关键词:** 花江峡谷区; 土地利用; 格网; 空间自相关; 热点分析

土地利用结构是各种土地利用类型按照一定组成方式的集合<sup>[1]</sup>, 是一个地区自然条件、资源以及社会经济发展的反映<sup>[2,3]</sup>。当前研究揭示了2010—2015年中国土地利用变化的时空格局和新特征<sup>[4]</sup>; 探讨了导致郊区土地利用结构信息熵上升的主要原因<sup>[5]</sup>; 甄别复杂地域单元景观格局形成的主控因素<sup>[6]</sup>, 发现土地利用空间格局与地形因子具有显著的相关性<sup>[7]</sup>, 如平原和山区贫困县耕地利用朝着不同方向发展<sup>[8]</sup>; 在格网尺度上利用热点分析工具研究河南省永城市土地利用转型时空演化规律以及热点区域等<sup>[9,10]</sup>; 创建LISA空间分布图揭示土地利用空间异质性及集聚分散情况, 以此分析土地利用在热点区域变化程度<sup>[11]</sup>。但总体来看, 在土地利用数量结构优化研究方面成果颇丰, 关于土地利用空间布局的研究较为薄弱<sup>[12]</sup>, 且大多数研究建立在500 m×500 m、1 km×1 km等大尺度空间单元来分析区域土地利用演变特征, 不能更加深入分析区域内部演变特征和空间差异。

目前关于西南岩溶山区土地利用的研究主要集中在坡耕地时空动态变化<sup>[13]</sup>、土地利用程度演变<sup>[14]</sup>、退耕还林对土地利用景观格局影响<sup>[15,16]</sup>、土地利用与土壤侵蚀<sup>[17]</sup>、石漠化治理区的土地利用变化<sup>[18]</sup>等方面, 发现石漠化治理区土地利用变化对生态安全性的影响

收稿日期: 2019-01-13; 修订日期: 2019-05-20

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0502300); 国家自然科学基金项目(41661020)

作者简介: 李珊珊(1994-), 女, 贵州湄潭人, 硕士, 研究方向为水土保持与国土整治。

E-mail: 1617498465@qq.com

通讯作者: 李阳兵(1968-), 男, 重庆潼南人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为土地利用与生态过程研究。

E-mail: li-yapin@sohu.com

最明显<sup>[19]</sup>, 石漠化景观格局随着土地利用方式的改变而相应改变<sup>[20]</sup>。从区域尺度看, 西南岩溶山地的生态改善情况<sup>[21]</sup>, 引起了国际上的关注<sup>[22]</sup>。西南岩溶山地生态脆弱, 土地利用的空间异质性和尺度关联性强<sup>[23]</sup>。结合岩溶山区自然地理环境的显著异质性, 基于微观空间单元对岩溶山区土地利用结构演变进行高精度栅格研究, 揭示岩溶山区典型地区的土地利用结构演变特征、转型趋势, 从而对研究其所反映的人地耦合关系具有重要的意义。花江峡谷区属于西南典型岩溶峡谷区, 地形复杂, 生态环境脆弱、石漠化严重, 因此, 花江峡谷区的土地利用结构变化对西南岩溶山地的土地利用变化来说具有指示性意义。以花江峡谷为研究区, 基于微观空间单元尺度, 在研究区创建 200 m×200 m 网格, 结合土地利用程度综合分析、热点分析和局部空间自相关分析方法来研究峡谷区土地利用结构变化, 揭示其土地利用的转型, 为探讨人地系统中人类活动与生态环境之间的耦合关系提供参考。

### 1 研究方法与数据来源

#### 1.1 研究区概况

花江峡谷区位于贵州省黔西南布依族苗族自治州贞丰县北盘江镇北部, 本文选择其峡谷南坡作为研究区, 地理坐标范围大致为 105°62′~105°69′E、25°62′~25°65′N。研究区总面积 30.85 km<sup>2</sup>, 下辖板围组、冗发组、报公寨组、庞家寨组、岩上组等 18 个村民小组 (图 1), 属亚热带季风湿润气候, 年平均气温 16.6 ℃, 年均降水量 1276.9 mm。研究区石灰岩分布广泛, 由于地层岩性不同, 在内外营力的相互作用下, 形成了境内多样化的地貌, 从北至南分别为峰丛干谷、峰丛槽谷两大形态, 本文以岩上组—胡家麻窝组一线将研究区划分为南北两个部分。峡谷区内石漠化情况严重, 生态环境脆弱, 裸岩分布面积

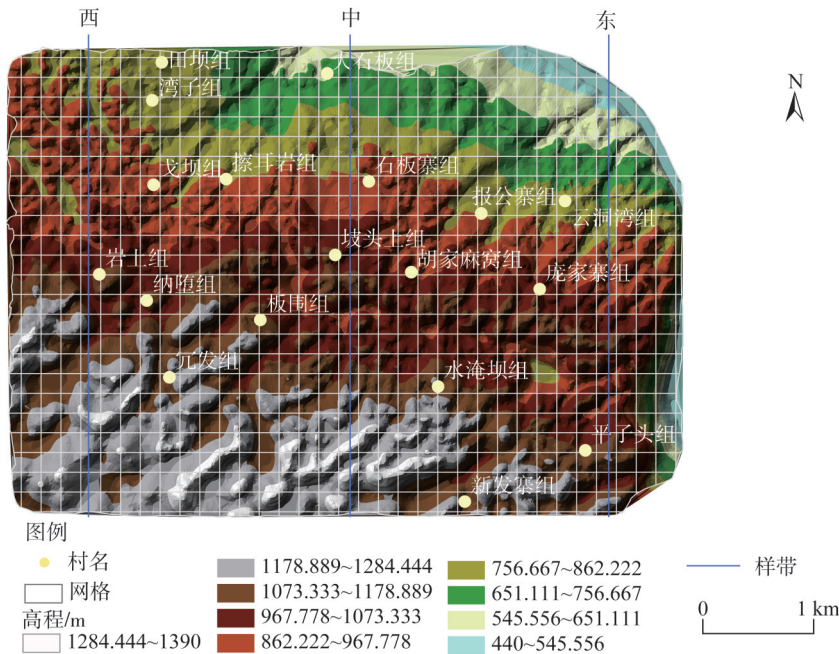


图 1 研究区示意图

Fig. 1 Sketch map of the study area

广,林地少,多为灌木林,且连片耕地面积更是少之又少,近年部分耕地撂荒。1992年后在擦尔岩村、云洞湾组开始种植花椒,花椒成为当地的特色经济作物。

## 1.2 数据来源

选取峡谷南坡2004年Spot影像(分辨率2.5 m),2010年Alos影像(分辨率2.5 m)、2015年资源卫星影像(分辨率2.5 m),基于Albers投影坐标,进行人机互译预处理,后期针对不确定区域进行野外实地调查验证,并进行详细记录之后返回修改,以保证数据的准确性,得出2004年、2010年和2015年三期土地利用矢量数据,数据准确性高达90%。同时,对研究区农户生计进行了详细的入户调查,以更加深入地探讨研究区土地利用变化影响因素。

## 1.3 研究方法

### 1.3.1 空间单元划分

研究区地形单元复杂,各地类分布破碎化,且南部和北部地表差异较大,北部多为裸露岩石,南部则多槽谷洼地。为了更深入地分析研究区土地利用结构演变特征,把研究区分成100 m×100 m、200 m×200 m、500 m×500 m甚至更大范围的网格单元进行比较,以确定合适的空间单元。根据花江峡谷区地形复杂等具体情况,本文认为将研究区划分为200 m×200 m的网格单元更为恰当。研究区共847个网格单元,平均网格大小0.036 km<sup>2</sup>,以此网格单元作为分析单元(表1),在微观尺度下深入地探讨花江峡谷区土地利用结构演变特征<sup>[24]</sup>。

### 1.3.2 每个网格内各地类面积占比

林地、耕地、聚落、裸岩裸土是研究区较典型的土地利用方式,因此,通过计算研

表1 研究区土地利用现状斑块与样方面积相应参数情况

Table 1 The parameters of land use patch and sample area in the study area

研究区土地利用类型	土地利用平均斑块面积/km <sup>2</sup>			三期平均斑块面积/km <sup>2</sup>	样方平均边长/km	倍数	样方平均面积/km <sup>2</sup>
	2004年	2010年	2015年				
水田	0.0096	0.0107	0.0099	0.010	0.189	4	0.036
平坝耕地	0.0039	0.0030	0.0027	0.003	0.189	11	0.036
缓坡耕地	0.0030	0.0022	0.0019	0.002	0.189	16	0.036
陡坡耕地	0.0043	0.0033	0.0032	0.004	0.189	9	0.036
退耕地	0.0023	0.0029	0.0027	0.003	0.189	13	0.036
林地	0.0088	0.0083	0.0079	0.008	0.189	5	0.036
稀疏林地	0.0031	0.0033	0.0036	0.003	0.189	13	0.036
灌木林	0.0067	0.0062	0.0062	0.006	0.189	6	0.036
花椒林	0.0059	0.0066	0.0037	0.005	0.189	6	0.036
高覆被草地	0.0074	0.0051	0.0050	0.006	0.189	6	0.036
低覆被草地	0.0063	0.0051	0.0046	0.005	0.189	7	0.036
乡村居民点	0.0006	0.0006	0.0005	0.001	0.189	6	0.036
高等级公路	0.0220	0.0194	0.0158	0.019	0.189	2	0.036
乡村道路	0.0065	0.0045	0.0042	0.005	0.189	7	0.036
水体	0.0531	0.0531	0.0532	0.053	0.189	1	0.036
工矿用地	0.0000	0.0106	0.0186	0.010	0.189	4	0.036
采矿废弃地	0.0000	0.0010	0.0092	0.003	0.189	12	0.036
裸岩裸土	0.0178	9.3214	0.0126	3.117	0.189	2	0.036

究区每个网格内林地、耕地、聚落、裸岩裸土等土地类型面积占网格面积百分比来体现研究区土地利用结构的分布。本文研究区土地利用类型划分为水田、平坝旱耕地(<7°)、缓坡旱耕地(7~15°)、陡坡旱耕地(15~25°)、退耕地(>25°)、林地、稀疏林地、灌木丛、花椒林、高覆被草地、低覆被草地、乡村居民点、高等级公路、乡村道路、水体、工矿用地、裸岩裸土和采矿废弃地。由于研究区石漠化情况严重,且花椒为当地石漠化治理的主要经济作物,因此,在划分土地利用类型时,将花椒林单独划分为一类(图2)。在计算各地类占比时根据研究区水田较少的实际情况,将水田划分到平坝旱耕地(<7°)中,最后与缓坡旱耕地(7~15°)、陡坡旱耕地(15~25°)面积占比相加,得出最终的耕地面积。

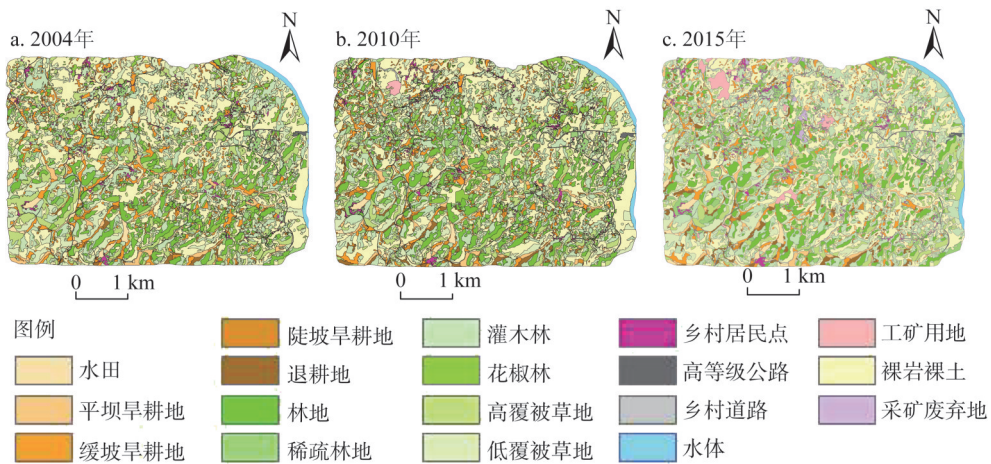


图2 2004年、2010年、2015年研究区土地利用类型分布

Fig. 2 Distribution of land use types in the study area in 2004, 2010 and 2015

### 1.3.3 土地利用程度综合分析

不同程度的人类活动会产生不同的土地利用类型,通过计算研究区每个网格单元内土地利用程度,探讨研究区内人类活动对当地土地利用产生的影响<sup>[25]</sup>。计算公式为:

$$L_j = 100 \times \sum_{k=1}^m B_k \times C_k \quad (1)$$

式中:  $L_j$ 表示区域土地利用程度综合指数,范围在100~400之间;  $B_k$ 表示该区域内第 $k$ 级土地利用程度分级指数;  $C_k$ 表示该区域第 $k$ 级土地利用程度分级面积百分比;  $m$ 表示土地利用程度分级数;  $j$ 为空间单元。

### 1.3.4 热点分析

热点分析用于识别具有统计显著性的热点和冷点的空间聚类,通过ArcGIS软件中的Getis-Ord  $G_i^*$ 工具对各地类面积百分比及土地利用程度冷热点进行识别,得出其在空间上的热点与冷点在空间上发生聚类的位置,具体计算公式为:

$$G_i^* = \frac{\sum_j^n w_{ij} x_j}{\sum_j^n x_j} \quad (2)$$

$$Z = \frac{G_i^* - E(G_i^*)}{\sqrt{\text{Var}(G_i^*)}} \quad (3)$$

式中： $G_i^*$ 为空间单元的*i*的聚集指数； $Z$ 为该聚集指数的显著程度； $w_{ij}$ 是以距离定义的空间权重； $x_j$ 为空间单元*j*的属性值； $E(G_i^*)$ 和 $\text{Var}(G_i^*)$ 分别是 $G_i^*$ 的数学期望和方差，如果 $Z$ 为正显著，则表明位置*i*周围的值相对高于平均值，属高值空间集聚，即热点区；若 $Z$ 为负显著，则表明位置*i*周围的值相对低于平均值，属低值空间集聚，即冷点区，并统计出各指标冷热点面积占比<sup>[26]</sup>。

### 1.3.5 双变量区域空间自相关

为了更加深入地探讨研究区林地、耕地、聚落、裸岩裸土等各土地利用类型之间的关联程度<sup>[27]</sup>，本文通过对研究区内林地面积占比、耕地面积占比、聚落面积占比、裸岩裸土面积占比以及土地利用程度五个指标分别做双变量区域空间自相关分析。因此，双变量区域空间自相关分析可以用局部Moran's  $I$ 指数进行度量。具体计算公式为：

$$I_{kl}^i = z_k^i \sum_{j=1}^n w_{ij} z_l^j \quad (4)$$

$$z_k^i = X_k^i - \bar{X}_k / \sigma_k, z_l^j = X_l^j - \bar{X}_l / \sigma_l \quad (5)$$

式中： $w_{ij}$ 是空间单元*i*、*j*之间的空间连接矩阵； $X_k^i$ 是空间单元*i*属性*k*的值； $X_l^j$ 是空间单元*j*属性*l*的值； $\bar{X}_k$ 、 $\bar{X}_l$ 则是属性*k*、*l*的方差。

## 2 结果分析

### 2.1 基于网格单元的各地类面积占比变化

研究区属于典型的喀斯特地貌，平坝地少，相应的平坝耕地少，主要分布在峰丛槽谷区谷底；缓坡旱耕地分布广。结果分析表明，2004年耕地、林地、裸岩裸土、聚落网格内最高占比分别为100%、38.39%、100%、90.01%，2010年分别为99.93%、71.35%、100%、100%，2015年分别为99.54%、80.93%、100%、100%；2004年耕地、林地、裸岩裸土和聚落网格内平均占比分别为28.86%、0.87%、11.76%、6.46%，2010年分别为27.13%、1.27%、8.77%、10.36%，2015年分别为1.29%、26.18%、10.30%、9.13%。与此同时，从2004—2015年间，林地面积占比网格数量在0~20%内都在增加；研究区陡坡旱耕地网格内最高占比从2004年为35.68%降至2015年32.69%，说明其最大分布范围在减小，耕地面积占比在20%~30%范围内是在减小；聚落面积占比网格数量变化较不明显；而裸岩裸土面积占比网格数量变化波动较大。此外，峡谷区耕地、林地等四种地类在每个网格中的面积占比主要是在0~30%之间变化波动，这说明研究区本身土地类型分布破碎化，且土地利用演变也是在较小范围内，而非大面积发生变化（图3）。

研究区内地形主要为低山丘陵与峰丛槽谷，而坡耕地主要分布在洼地四周坡面上，2004—2015年坡耕地的面积逐渐减少。其中，缓坡旱耕地逐渐减少，2004年缓坡旱耕地为167.10 hm<sup>2</sup>，主要分布于纳堕组、板围组、坡头上组和水淹坝组及东部部分区域；2010年减少了15%，主要有岩上组、纳堕组、板围组、水淹坝组及研究区西部部分区域，分布范围缩小且向研究区西部转移；2015年增加了10%，分布最广的区域是板围组及其周围

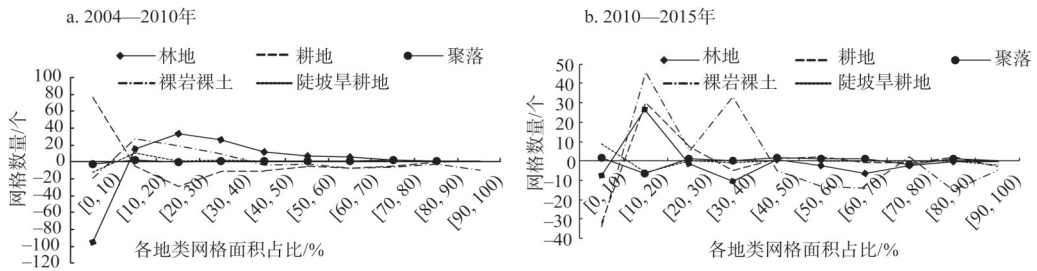


图3 2004—2010年、2010—2015年网格面积占比变化

Fig. 3 Grid area ratio change from 2004 to 2010 and 2010 to 2015

地区,其次是水淹坝组、湾子组、戈坝组和擦耳岩组所在的东北部部分区域,分布范围低幅度扩大,逐渐向区内东北部转移。陡坡旱耕地2004年为18.49 hm<sup>2</sup>,主要分布于冗发组、水淹坝组和板围组;2010年减少了9%,则主要分布在冗发组,其次是纳堕组、板围组和水淹坝组周围部分地区,与2015年相比减少了23%,分布范围也在减小。

## 2.2 土地利用程度分析

### 2.2.1 土地利用程度空间分布分析

土地利用程度可以用来反映自然条件和人类活动与土地利用之间相互影响的程度。从图4看出,2004年土地利用程度最高的地区为石板寨组、胡家麻窝组、湾子组和大石板组区域,其综合指数最高值为245.38,其次为冗发组靠近南部区域和大石板组东北部区域。2010年土地利用程度最高的在田坝组、大石板组、胡家麻窝组和平子头组,其最高值为232.08。2015年土地利用程度最高的在湾子组,土地利用程度低值区在胡家麻窝组和平子头组,综合指数最低值为149.77。2004年、2010年和2015年整个研究区的土地利用程度综合指数值分别介于131.20~245.38、136.91~232.08和149.77~251.47之间,2015年的土地利用程度值在三个年份中总体偏高,这与研究区本身生态环境脆弱及在2010年后工矿用地的增加有着一定的影响。

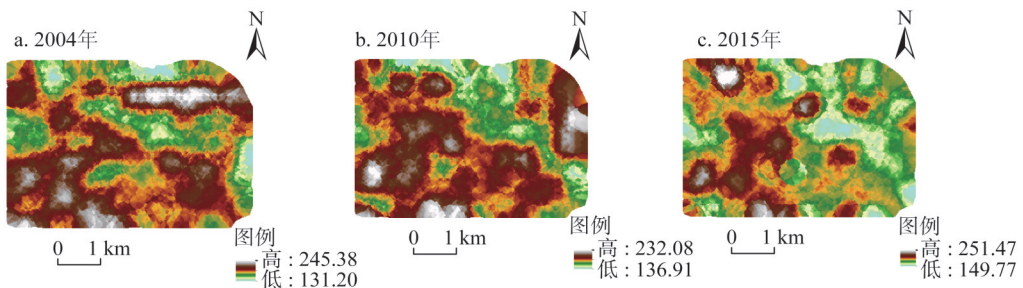


图4 2004年、2010年、2015年土地利用程度综合指数插值

Fig. 4 Interpolation of comprehensive index of land use degree in 2004, 2010 and 2015

### 2.2.2 基于不同高程的土地利用程度变化

位于中国西南岩溶地区的贵州省喀斯特地貌发育,研究区内山地、丘陵、洼地分布广泛,分析不同高程下土地利用程度分布及变化,利于从多角度探讨该研究区土地利用分异与演变差异。本文在整个研究区内选择西、中、东三条不同高程样带(图1),分析其不同高程下土地利用程度的空间分异与演变规律。从图5可以看出,研究区自北向南

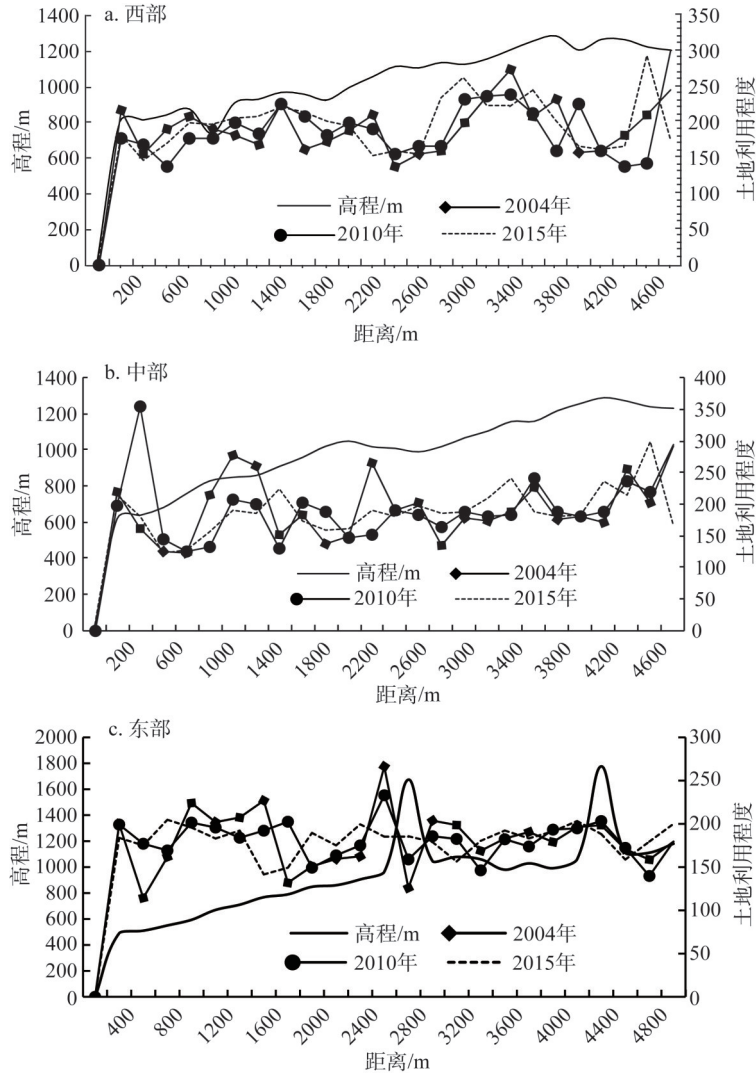


图5 研究区西部、中部、东部不同高程下土地利用程度变化

Fig. 5 Changes in land use degree at different elevations in the western, central and eastern parts of the study area

海拔逐渐上升,在不同时间不同高程土地利用程度具有差异性,西部样带中,在中部与南部呈现海拔较高地区土地利用程度整体偏低,主要是在岩上组西南部及冗发组南部区域;中部样带中,在自北向南800~1200 m处,即在擦耳岩组、大石板组与石板寨组之间区域土地利用程度偏高;东部样带中,北部主要位于干热河谷地带,海拔较低,适宜种植花椒等作物,在云洞湾等区土地利用程度较为偏高,南部区域土地利用程度波动较小。

### 2.3 研究区土地利用变化空间热点分析

#### 2.3.1 基于地统计的土地利用空间差异分析

基于地统计学的克里金插值比常规的插值方法更为精确,通过ArcGIS软件中Kriging空间插值方法分析研究区裸岩占比、林地占比和聚落占比的空间分布特征,以反映整个研究区土地利用状况。在图6中,前期云洞湾组区域大面积种植花椒,因此花椒占比比较高,但是裸岩分布仍然较广,2015年裸岩分布面积逐渐向东北部转移收缩;而林地面积

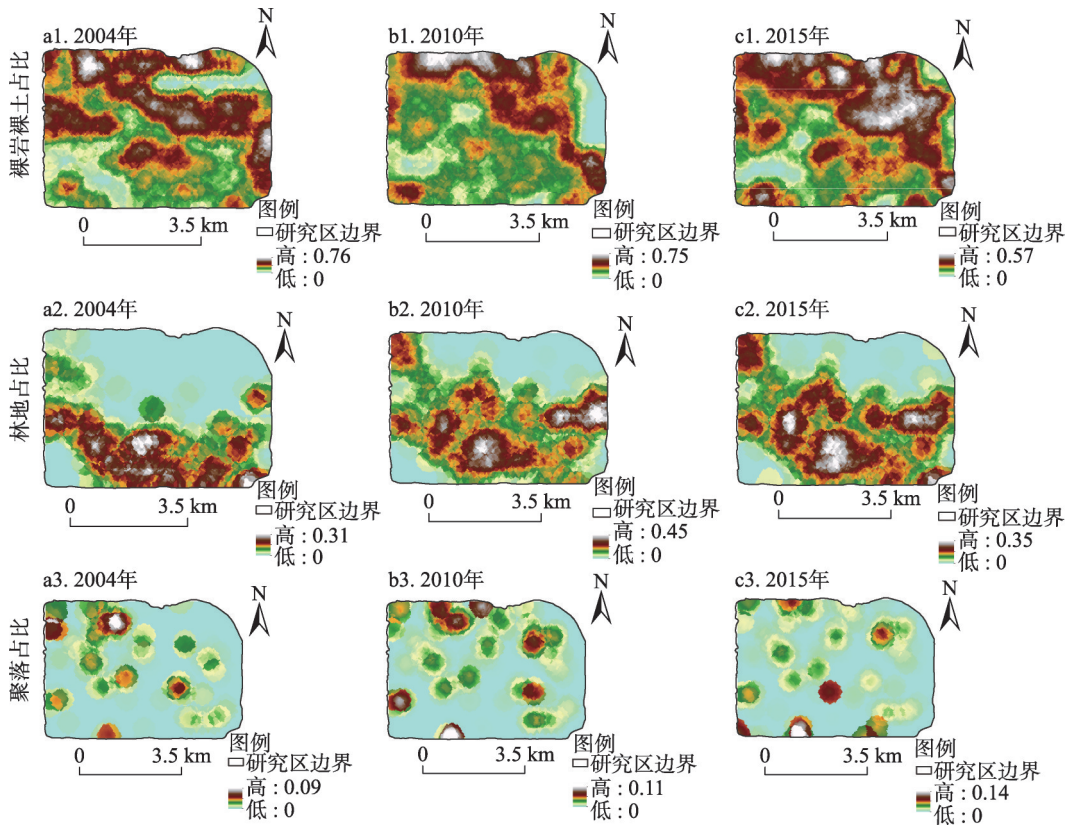


图6 2004年、2010年、2015年研究区裸岩裸土占比、林地占比、聚落占比插值

Fig. 6 The proportions of bare rock, forest land, and settlements in the study area in 2004, 2010 and 2015

在2004—2015年则逐渐增加,呈斑点状式扩张;2004年聚落占比较高的主要是在湾子组等区域,2010年增加较为明显,2015年增加不明显。总体来说,研究区裸岩裸土占比高值逐渐往北部及东北部转移,同时,林地占比高值逐渐增加,后期聚落增加不明显。

### 2.3.2 基于空间冷热点的土地利用变化分析

通过ArcGIS软件中的Getis-Ord  $G_i^*$  工具对林地占比、耕地占比、聚落占比、裸岩裸土占比以及花椒林占比进行可视化分析,其中热点区为耕地、聚落等分布集聚区,而冷点集聚则是各指标分布分散区,如图7所示。

(1) 林地极热点区2004年有纳堕组、冗发组和新发寨组及岩上组南部部分地区,2010年林地极热点区有纳堕组、冗发组和庞家寨组,相对于2010年,2015年林地极热点区增加了湾子头组西部区域,林地主要分布在研究区南部峰丛槽谷区,整体来说,研究区南部较北部林地面积分布更广。

(2) 峡谷区耕地极热点区2004年有石板寨组、冗发组南部村落,2010年有冗发组、板围组,2015年有冗发组、板围组和田坝组,峡谷区北部及东北部的低山丘陵区石漠化严重,耕地分布范围小,耕地的冷热点空间变化不明显。

(3) 聚落极热点区2004年有田坝组、湾子组、擦耳岩组、纳堕组、板围组和水淹坝组,2010年与2004年相比增加报公寨组,2015年有田坝组、湾子组、报公寨组、新发寨组、板围组和岩上组,聚落面积增加,但增幅不明显,峡谷区聚落冷点空间集聚不明显。



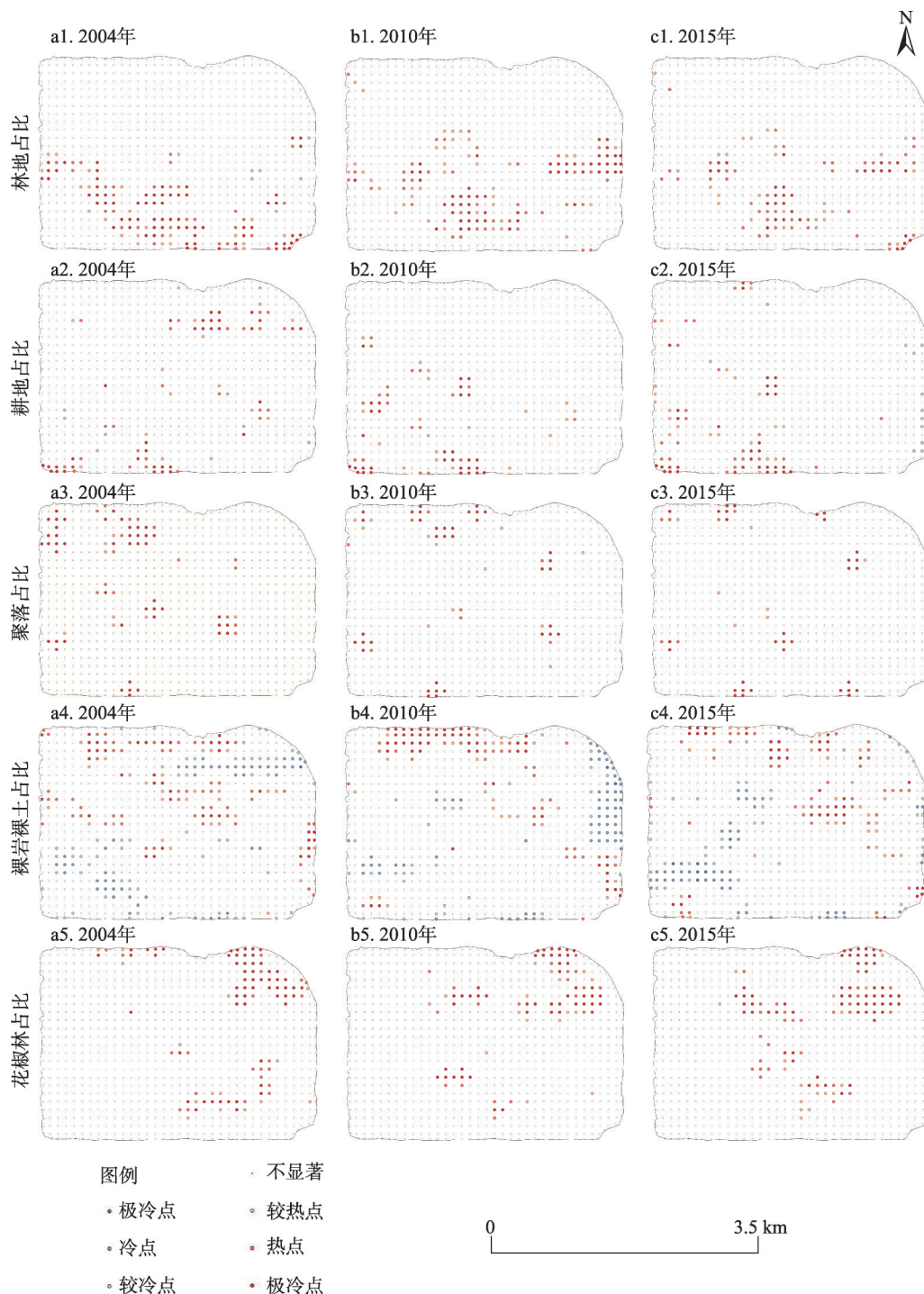


图7 2004年、2010年、2015年林地占比、耕地占比、聚落占比、裸岩裸土占比、花椒林占比冷热点（从上至下）

Fig. 7 The proportions of forest land, cultivated land, settlements, bare rock, and *Zanthoxylum Bungeanum* in the study area in 2004, 2010, 2015 (From top to bottom)

(4) 裸岩裸土极热点区2004年有田坝组、湾子组、大石板组、报公寨组、云洞湾

组、胡家麻窝组、坡头上、擦耳岩、岩上组和纳堕组,相比2004年,2010年减少岩上组、纳堕组和庞家寨组,分布范围减小,且逐渐向研究区北部以及东北部收缩,而裸岩热点区域分布广,这说明在这些地区岩石裸露,石漠化情况较为严重。

(5) 花椒林极热点2004年主要分布在擦尔岩村、云洞湾组、田坝组及水淹坝组东南部分地区,由于石材开采,花椒种植减少,2010年极热点在在田坝组地区分布范围减少,2015年在报公寨组、云洞湾组等区有增加趋势。

综上所述,经统计分析各指标冷热点网格数量,整体来说林地的较热点、热点和极热点都在增加,主要是热点区;耕地热点区总体减少;聚落极热点区逐渐减少,而较热点则相反,热点呈先减少后增加的趋势;裸岩裸土极冷点、冷点和较冷点网格数都在增加,三种热点网格数相对减少;花椒热点区总体上呈增加的趋势。部分指标类型网格数虽未有明显变化,但在空间上有着各自的分布特征与演变规律(表2)。

表2 各指标冷热点网格数

Table 2 Number of cold and hot spot grids for each indicator

年份	用地类型	极冷点	冷点	较冷点	较热点	热点	极热点
2004	林地	0	0	0	29	31	70
	耕地	0	0	3	20	24	35
	聚落	0	0	0	8	16	47
	裸岩裸土	1	51	55	33	53	39
	土地利用程度	22	36	40	34	37	35
	花椒林	0	0	0	15	21	59
2010	林地	0	0	0	38	40	54
	耕地	0	0	0	19	19	31
	聚落	0	0	0	12	8	36
	裸岩裸土	2	65	33	27	37	50
	土地利用程度	24	31	31	23	20	26
	花椒林	0	0	0	16	19	48
2015	林地	0	0	6	26	41	30
	耕地	0	0	10	22	23	33
	聚落	0	0	0	7	6	32
	裸岩裸土	6	53	40	27	47	37
	土地利用程度	9	37	39	20	23	27
	花椒林	0	0	0	17	29	57

## 2.4 双变量区域空间自相关

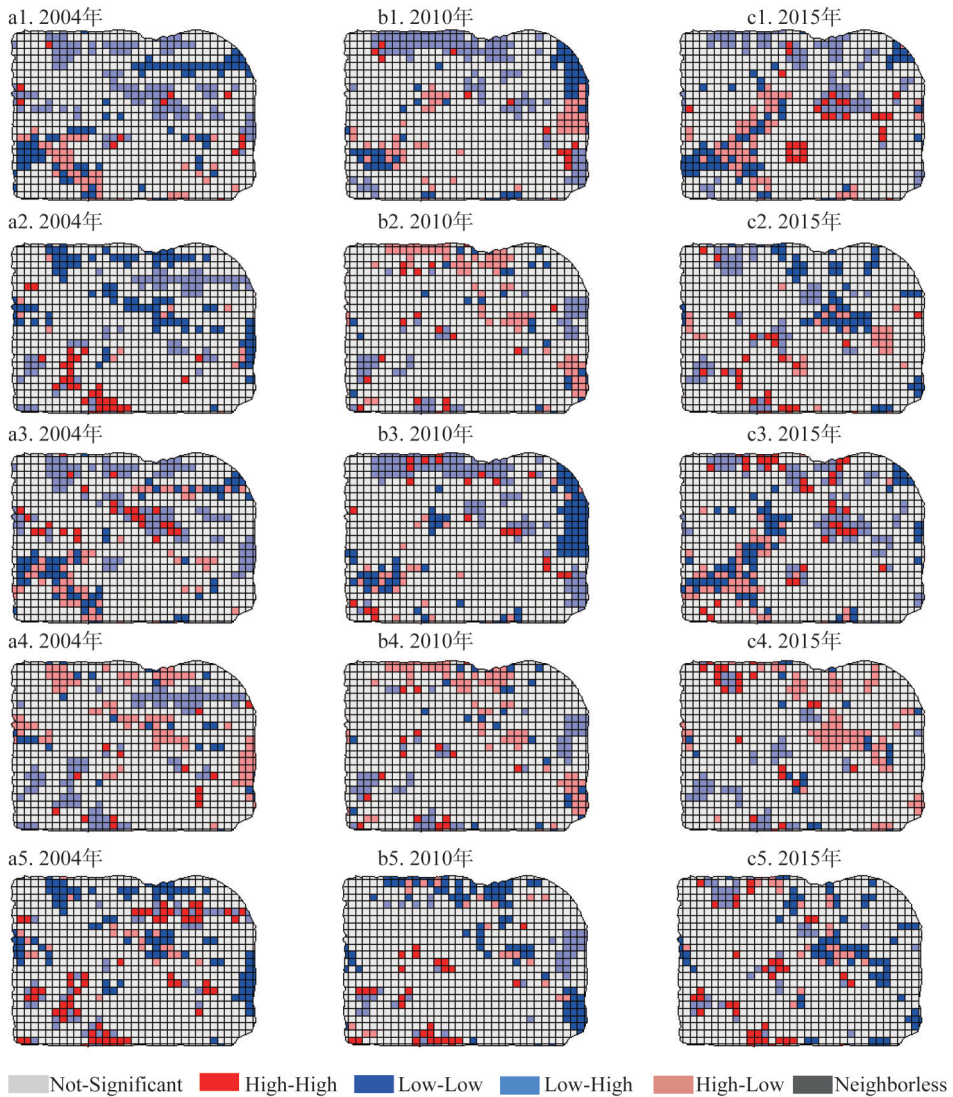
耕地与林地、耕地与聚落、耕地与裸岩裸土等两者之间一种地类的变化会影响另一地类的变化发展,本文通过分析两两指标区域空间自相关性的GeoDa软件计算出2004年、2010年和2015年耕地占比、林地占比、聚落占比、裸岩裸土占比和土地利用程度占比的双变量LISA值,进一步分析研究区各指标的相关性,得出两两指标的空间关联局域指标LISA分布图,若该区域某一变量值与其邻域另一变量均值间是高高(HH)型或低低(LL)型的空间正相关,表明具有较高的空间聚合特性;若是低高(LH)型或者高低(HL)型的空间负相关则表明区域具有离散特性,其中,本文中各地类面积占比

及土地利用程度指标HH与LL为空间正相关；而HL与LH则为空间负相关。

2.4.1 不同指标间两两空间自相关集聚分析

(1) HH与LL相关分布

从图8看出，林地占比与耕地占比在LL型分不明显，2004年主要分布于田坝组及研究区东部一带，HH型相关主要分布在冗发组南部区域；2004年林地占比—土地利用程度HH型相关相间分布于冗发组等村落，2010年LL相关明显则主要分布于田坝组、大石板组的胡家麻窝组，2015年LL相关主要分布于冗发组西南部区域；耕地占比—聚落占比HH相关与LL相关不明显；2004年聚落占比—裸岩裸土占比在报公寨组和云洞湾组及纳堕组西南部区域为LL型，2010年在云洞湾组呈显著LL型相关；聚落占比—土地利用程



注：从上至下为林地—裸岩裸土、林地—土地利用程度、裸岩裸土—耕地、土地利用程度—裸岩裸土、土地利用程—耕地LISA分布图。

图8 2004年、2010年、2015年各指标空间自相关LISA分布图

Fig. 8 Spatial autocorrelation of LISA distribution for each indicator in 2004, 2010 and 2015

度2004年田坝组、岩上组等4个村落呈LL型相关;2004年裸岩裸土占比—耕地占比空间正相关在研究区零散分布;2004年冗发组等村落林地占比—土地利用程度呈空间HH相关。

### (2) HL与LH相关分布

2004年林地占比—土地利用程度LH相关的有报公寨组与云洞湾组,而LH型则主要分布于田坝组与大石板组及云洞湾组地区,2015年分布范围有所减小;2004年耕地占比—聚落占比在整个研究区HL型相关分布明显,而后范围逐渐缩小;2004年聚落占比—裸岩裸土占比在田坝组等4个村落呈LH型相关,2010年则主要分布于报公寨组、胡家麻窝组以及田坝组,2015年LH相关分布范围低幅度增加;2004年在整个研究区林地占比—聚落占比呈明显HL型相关,2010年与2015年范围有所减小;2004年林地占比—裸岩裸土占比在大石板组与冗发组等区则呈LH型相关,2010年与2015年主要分布在研究区北部;2004年林地占比—土地利用程度空间HL相关分布零散且范围较小,2010年HL型相关明显;2004年与2010年裸岩裸土占比—耕地占比LH相关主要分布在研究区北部湾子组等村落,2015年转移至云洞湾组和报公寨组南部;2004年裸岩裸土占比—土地利用程度HL与LH相关相对均匀分布于整个研究区。

### (3) HH与LH或LL与HL相关分布

2004—2015年聚落占比—裸岩裸土占比LL与LH型相关相间分布于整个研究区,2010年在云洞湾组LL型相关分布范围增加;2004—2015年研究区聚落占比—裸岩裸土占比LL与LH型相关相间分布;HH型相关分布零散。

## 2.4.2 两两指标相关类型LISA集聚分布演变

根据上述分析,总体来说,林地占比—裸岩裸土占比、林地占比—土地利用程度及聚落占比—耕地占比负相关性较大,林地—耕地相关正相关性逐渐减小,随着近年来政府对石漠化土地生态恢复治理的高度重视,研究区大部分区域土地利用程度逐渐降低,除了发展采石业的部分地区以外土地利用程度较为明显;此外,土地利用程度—裸岩裸土2015年HH相关分布在冗发组东南部范围扩大,由于采石业的发展,该区土地利用程度提高,裸岩面积增加;研究区耕地分布范围本身较少,因此,土地利用程度—耕地相关性分布相对分散。

## 3 结论与讨论

### 3.1 结论

利用2004年、2010年和2015年遥感影像数据,从微观空间尺度(200 m×200 m格网),依据耕地、林地、裸岩裸土和聚落在研究区所占比例,以及土地利用程度,利用两两指标局部空间自相关分析法创建空间关联局域指LISA局部空间自相关格局分布图和热点分析法,综合探究花江峡谷区内部土地利用演变规律以及内部差异,得到以下结论:

(1)花江峡谷区土地利用在数量上演变特征从2004—2015年总体上呈现耕地减少,撂荒地增加,林地与草地面积增加,分布范围扩大,两者冷热区变化较为明显,主要是林地热点区增加;相反,裸岩裸土热点区减少,裸岩分布面积部分地区在增加,但总体上是在减少。土地利用程度高的地区还是主要集中在田坝组、湾子组等区域,这些地区本身石漠化程度高,加之近几年采石业发展,使其土地利用程度增加。从2004—2015年,道

路与采石场的修建使得耕地面积减少，同时，大部分耕地撂荒，当地村民在部分撂荒耕地中继续种植花椒，使得花椒种植面积增加；研究区内总体土地利用方式呈现多样化发展的趋势。

(2) 花江峡谷区土地利用在空间分布上演变特征为林地、草地分布范围逐渐扩大，但林地与草地并非是大面积扩张，而是呈斑点式在整个研究区零散增加；裸岩分布范围逐渐缩小，研究区南部生态环境相对于北部较好，林地面积相对于北部更为广阔，从2004—2015年，裸岩分布逐渐向东北部收缩，以及北部田坝组和周边区域。

(3) 整个研究区相关性空间分布不均，研究区内裸岩裸土—土地利用程度两者相关较为明显，但相关性较强地区主要分布在田坝组等村落，这些地区本身裸岩裸土分布面积广，且加之人类活动导致对土地的高强度使用，耕地、林地、聚落和裸岩裸土等土地利用方式之间存在着一定的相关性。

研究结果对于研究岩溶山地大尺度、大范围的土地利用演变特征和空间格局具有一定的借鉴和参考。但是由于研究的广度与深度有限，还需使用更全面的方法来更深入、深刻地分析人地系统中人类活动与生态环境之间的作用关系。

### 3.2 讨论

土地利用变化驱动力包括自然和人为两个方面，其中，自然因素是影响区域土地利用结构的一个最基本要素，而人类活动在短时间内是否合理利用土地，这对土地利用结构将产生显著的影响<sup>[28,29]</sup>。花江峡谷区本身脆弱的生态地质背景基础，在研究区北部石漠化情况相比南部更为严重，土地利用程度相对较高，尤其是在湾子组、田坝组和云洞湾组地区；但是，真正导致土地利用演变的是人类活动的干预（图9）。

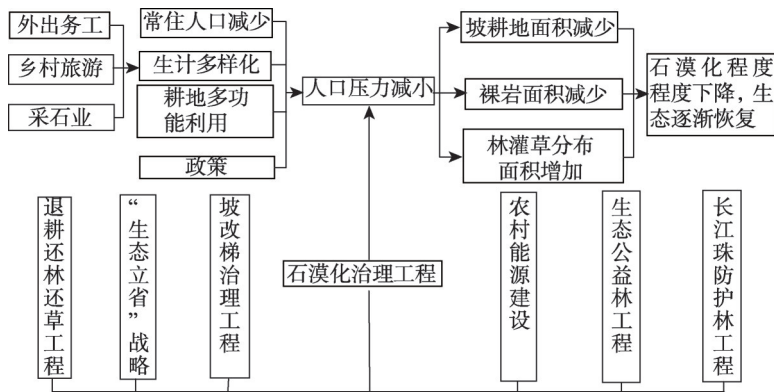


图9 驱动机制图

Fig. 9 Diagram showing driving mechanism

从表3看出，研究区外出务工人员占家庭总人口数在80%~100%就有121户，从事农业的人数减少，即劳动力减少，导致大量耕地荒废，无人耕种，后由于当地花椒产业及采石业的发展，部分村民返乡，耕地有小幅增加（如菜园）；此外，灌木林和草地面积从2004—2015年总体上都有增加，政府的石漠化治理工作落到实处，生态修复工作得到改善。打造乡村旅游和发展特色经济作物也是当地石漠化治理重要手段，乡村道路面积增加，反映了近年来当地交通条件的改善，为发展乡村旅游提供了便利；在部分退耕地中种植花椒林，花椒适宜种植在环境较为干旱地区，适应性强，这也为农民增加一份收入。

表3 研究区2016年社会经济数据

Table 3 Social and economic data in the study area in 2016

一级类型	二级类型	数量	一级类型	二级类型	数量
户主类型/人	纯农	488	道路硬化/户	非硬化	205
	兼农	32		通车	313
	非农	3		硬化	4
农户学历/户	大学	16	外出务工/户	省外	403
	高中	24		省内	12
	初中	275		市内	7
	小学	134		县内	87
	其他	73		其他	237
务工人数占家庭总人数/户	0~30%	291	空心化状况/户	仅老人/小孩居住	83
	30%~60%	33		非家庭主要住房	6
	60%~80%	78		季节性居住	15
	80%~100%	121		废弃	8
承载人口/人	—	2486	劳动人口/人	—	1286
劳动人口/承载人口	—	51.73%			

研究区石漠化条件严重,大量岩石裸露。因石穷也可因石富,通过建立采石场发展采石业,同时改善交通条件,以此促进当地经济发展,增加农民收入,而后修建或改造房屋;同样,耕地面积减少,退耕地大量增加,2004—2010年增加19.21 hm<sup>2</sup>,2010—2015年增加9.06 hm<sup>2</sup>,原因亦是如此。研究区上述土地利用结构的变化反映了研究区土地利用正在发生着转型(图10、图11),是西南岩溶山区土地利用变化的一个缩影,说明在西南岩溶山区尽管生态环境较为脆弱,但土地利用结构随着社会经济的发展不断发生着变化,并从源头上阻断了石漠化的发生<sup>[30]</sup>。研究区土地利用结构演变也与西南岩溶山地生态改善的大背景<sup>[21]</sup>、中国变绿的发展趋势相一致<sup>[31]</sup>,是对大尺度宏观研究结果的很好的验证案例。同时,基于微观单元的土地利用结构演变研究,也对岩溶山区农业现代化建设和精准扶贫具有重要指导意义<sup>[8]</sup>。

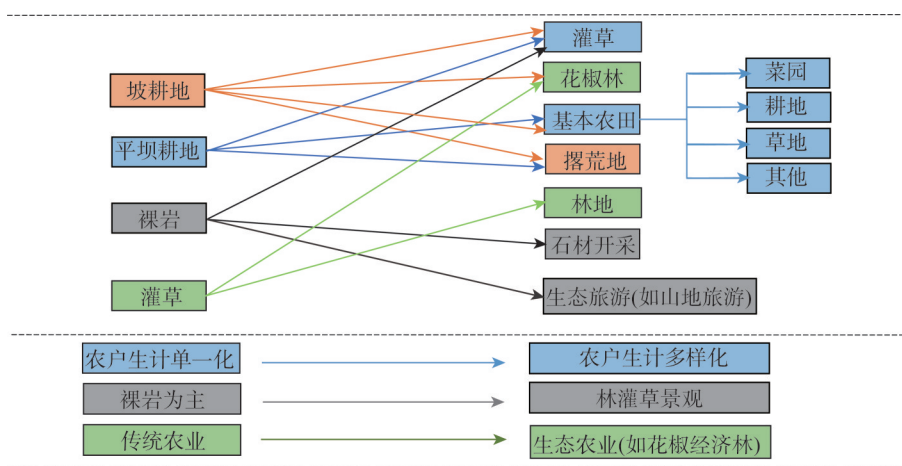


图10 转型趋势示意图

Fig. 10 Schematic map of transition trends



图11 2003年、2010年、2016年擦尔岩村

Fig. 11 Caeryan village in 2003, 2010 and 2016

### 参考文献(References):

- [1] 刘冰晶, 杨艳昭, 李依. 北方农牧交错带土地利用结构特征定量研究. 干旱区资源与环境, 2018, 32(6): 64-71. [LIU B J, YANG Y Z, LI Y. Quantitative study on the characteristics of land use structure in the ecotone of agriculture and animal husbandry in Northern China. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2018, 32(6): 64-71.]
- [2] 王晓娇, 陈英, 齐鹏, 等. 土地利用结构动态演变及预测研究: 以张掖市为例. 干旱区资源与环境, 2012, 26(4): 86-91. [WANG X J, CHEN Y, QI P, et al. Dynamic evolution and prediction of land use structure: Taking Zhangye city as an example. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2012, 26(4): 86-91.]
- [3] 范辉. 发达地区土地利用结构变化定量分析: 以浙江省慈溪市为例. 信阳师范学院学报: 自然科学版, 2018, 31(4): 599-605. [FAN H. Quantitative analysis of land use structure change in developed areas: A case study of Cixi city, Zhejiang province. *Journal of Xinyang Normal University: Natural Science Edition*, 2018, 31(4): 599-605.]
- [4] NING J, LIU J Y, KUANG W H, et al. Spatiotemporal patterns and characteristics of land-use change in China during 2010-2015. *Journal of Geographical Sciences*, 2018, 28(5): 547-562.
- [5] 王玉明, 王瑞康. 城市化时期郊区土地利用结构信息熵上升的原因. 地理学报, 2018, 73(9): 1647-1657. [WANG Y M, WANG R K. Reasons for the increase of information entropy of land use structure in suburbs during urbanization. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(9): 1647-1657.]
- [6] 张静静, 朱文博, 赵芳, 等. 山地平原过渡带地形起伏特征及其对景观格局的影响: 以太行山淇河流域为例. 中国科学: 地球科学, 2018, 48(4): 476-486. [ZHANG J J, ZHU W B, ZHAO F, et al. Characteristics of topographic relief in the transition zone of mountain plains and its impact on landscape pattern: Taking the Taihangshan Qihe River Basin as an example. *Scientia Sinica Terrae*, 2018, 48(4): 476-486.]
- [7] 宋戈, 王盼盼. 松嫩高平原县域土地利用空间格局地形梯度特征分析: 以巴彦县为例. 地理科学, 2017, 37(8): 1218-1225. [SONG G, WANG P P. Spatial pattern of land use along the terrain gradient of county in Songnen High Plain: A case study of Bayan county. *Scientia Geographica Sinica*, 2017, 37(8): 1218-1225.]
- [8] 谢臻, 张凤荣, 高阳, 等. 基于遥感和GIS的平原和山区贫困县农村耕地利用演变对比. 农业工程学报, 2018, 34(15): 255-263. [XIE Z, ZHANG F R, GAO Y, et al. Comparison of rural cultivated land use in rural and mountainous poverty-stricken counties based on remote sensing and GIS. *Transactions of the CSAE*, 2018, 34(15): 255-263.]
- [9] 郭椿阳, 高建华, 樊鹏飞, 等. 基于格网尺度的永城市土地利用转型研究与热点探测. 中国土地科学, 2016, 30(4): 43-51. [GUO C Y, GAO J H, FAN P F, et al. Research on land use transformation and hot spot detection in Yongcheng city based on grid scale. *China Land Science*, 2016, 30(4): 43-51.]
- [10] 侯孟阳, 姚顺波, 邓元杰, 等. 格网尺度下延安市生态服务价值时空演变格局与分异特征: 基于退耕还林工程的实施背景. 自然资源学报, 2019, 34(3): 539-552. [HOU M Y, YAO S B, DENG Y J, et al. Spatio-temporal evolution pattern and differentiation characteristics of ecological service value in Yan'an city based on grid scale-Based on the implementation background of Returning farmland to forest project. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(3): 539-552.]
- [11] 高凯, 周志翔, 杨玉萍. 长江流域土地利用结构及其空间自相关分析. 长江流域资源与环境, 2010, 19(s1): 13-20. [GAO K, ZHOU Z X, YANG Y P. Analysis of land use structure and spatial autocorrelation in the Yangtze River Basin. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2010, 19(s1): 13-20.]
- [12] 王群, 王万茂. 中国大陆地区土地利用结构研究进展. 中国土地科学, 2015, 29(8): 10-15. [WANG Q, WANG W M. Research progress in land use structure in mainland China. *China Land Science*, 2015, 29(8): 10-15.]
- [13] 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. 农业工程学报, 2014, 30(11): 233-243. [LUO G J, WANG S J, LI Y B, et al. Temporal and spatial dynamics of sloping farmland in karst area and as-

- assessment of its ecological service function. *Transactions of the CSAE*, 2014, 30(11): 233-243.]
- [14] 张颖, 赵宇鸾. 黔桂岩溶山区土地利用程度演变的空间分异特征. *水土保持研究*, 2018, 25(1): 287-297. [ZHANG Y, ZHAO Y N. Spatial differentiation characteristics of land use degree evolution in Karst Mountain Area of Guizhou province. *Research of Soil and Water Conservation*, 2018, 25(1): 287-297.]
- [15] 秦罗义, 白晓永, 王世杰, 等. 近40年来贵州普定典型喀斯特高原景观格局变化. *生态学杂志*, 2014, 33(12): 3349-3357. [QIN L Y, BAI X Y, WANG S J, et al. Changes in landscape pattern of typical karst plateau in Puding, Guizhou in the past 40 years. *Chinese Journal of Ecology*, 2014, 33(12): 3349-3357.]
- [16] 张婷, 侍昊, 徐雁南, 等. 退耕还林对喀斯特地区土地利用景观格局影响的量化评价. *北京林业大学学报*, 2015, 37(3): 34-43. [ZHANG T, SHI H, XU Y N, et al. Quantitative evaluation of the effects of returning farmland to forests on land use landscape patterns in Karst Regions. *Journal of Beijing Forestry University*, 2015, 37(3): 34-43.]
- [17] 王欢, 高江波, 侯文娟. 基于地理探测器的喀斯特不同地貌形态类型区土壤侵蚀定量归因. *地理学报*, 2018, 73(9): 1674-1686. [WANG H, GAO J B, HOU W J. Quantitative attribution of soil erosion in different morphological types of karst based on geographic detectors. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(9): 1674-1686.]
- [18] 彭睿文, 罗娅, 陈起伟, 等. 石漠化治理区小尺度土地利用变化及其驱动机制分析: 以花江石漠化治理区为例. *长江流域资源与环境*, 2017, 26(12): 2073-2082. [PENG R W, LUO Y, CHEN Q W, et al. Analysis of small-scale land use change and its driving mechanism in rocky desertification control area: Taking Huajiang Rock Desertification Control Area as an example. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2017, 26(12): 2073-2082.]
- [19] 罗娅, 熊康宁, 李永垚, 等. 石漠化治理区土地利用变化安全性评价: 以花江、红枫湖、鸭池石漠化治理区为例. *自然资源学报*, 2019, 34(3): 600-612. [LUO Y, XIONG K N, LI Y Y, et al. Safety evaluation of land use change in rocky desertification control area: Taking Huajiang, Hongfeng Lake and Yachi rocky desertification control areas as examples. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(3): 600-612.]
- [20] 冉晨, 白晓永, 谭斌, 等. 典型喀斯特地区石漠化景观格局对土地利用变化的响应. *生态学报*, 2018, 38(24): 8901-8910. [RAN C, BAI X Y, TAN Q, et al. The response of rocky desertification landscape pattern to land use change in a typical karst area. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(24): 8901-8910.]
- [21] TONG X W, MARTIN B, YUE Y M, et al. Increased vegetation growth and carbon stock in China karst via ecological engineering. *Nature Sustainability*, 2018, 1: 44-50.
- [22] MACIAS-FAURIA M. Satellite images show China going green. *Nature*, 2018, 553(7689): 411-413.
- [23] 万将军, 邓伟, 张继飞, 等. 中国西南喀斯特山区国土空间利用变化的人文驱动框架构建. *中国岩溶*, 2018, 37(6): 859-865. [WAN J J, DENG W, ZHANG J F, et al. Construction of humanistic driving framework for the change of land use in the karst mountainous area of Southwest China. *Carsologica Sinica*, 2018, 37(6): 859-865.]
- [24] 王国杰, 廖善刚. 土地利用强度变化的空间异质性研究. *应用生态学报*, 2006, (4): 4611-4614. [WANG G J, LIAO S G. Spatial heterogeneity of land use intensity change. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, (4): 4611-4614.]
- [25] 敖登高娃, 李跃进, 兀良哈·巴雅尔. 脆弱草原带农牧交错区村域尺度土地利用结构定量分析. *农业工程学报*, 2017, 33(6): 222-231. [AODENG G W, LI Y J, WULIANGHA B Y E. Quantitative analysis of land use structure at the village scale in fragile grassland with agro-pastoral zone. *Transactions of the CASE*, 2017, 33(6): 222-231.]
- [26] 彭建, 刘志聪, 刘焱序, 等. 京津冀地区县域耕地景观多功能性评价. *生态学报*, 2016, 36(8): 2274-2285. [PENG J, LIU Z C, LIU Y X, et al. Multifunctional evaluation of cultivated land landscape in county area of Beijing-Tianjin-Hebei Region. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(8): 2274-2285.]
- [27] 高凤杰, 单培明, 马泉来, 等. 黑土耕作区土壤含水量空间自相关及农业生产分区. *自然资源学报*, 2017, 32(11): 1930-1941. [GAO F J, SHAN P M, MA Q L, et al. Study on spatial autocorrelation of soil water content and agricultural production division in black soil cultivation area. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(11): 1930-1941.]
- [28] 张冉, 王义民, 畅建霞, 等. 基于水资源分区的黄河流域土地利用变化对人类活动的响应. *自然资源学报*, 2019, 34(2): 274-287. [ZHANG R, WANG Y M, CHANG J X, et al. Response of land use change in the Yellow River Basin to human activities based on water resources division. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(2): 274-287.]
- [29] 孔令桥, 张路, 郑华, 等. 长江流域生态系统格局演变及驱动力. *生态学报*, 2018, 38(3): 741-749. [KONG L Q, ZHANG L, ZHENG H, et al. Evolution and driving force of ecosystem pattern in the Yangtze River Basin. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(3): 741-749.]
- [30] 李阳兵, 罗光杰, 白晓永, 等. 典型峰丛洼地耕地、聚落及其与喀斯特石漠化的相互关系: 案例研究. *生态学报*, 2014, 34(9): 2195-2207. [LI Y B, LUO G J, BAI X Y, et al. Typical clusters of cultivated land, settlements and their rela-



tionship with karst rocky desertification: Case study. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(9): 2195-2207.]

- [31] CHEN C, PARK T, WANG X H, et al. China and India lead in greening of the world through land-use management. *Nature Sustainability*, 2019, 2: 122-129.

## The evolution of land use structure in karst valley area based on micro-space unit

LI Shan-shan<sup>1</sup>, LI Yang-bing<sup>1</sup>, WANG Meng-meng<sup>1</sup>, LUO Guang-jie<sup>2</sup>

(1. School of Geographic and Environmental Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China;

2. Guizhou Provincial Key Laboratory of Geographic State Monitoring of Watershed, Guizhou Education University, Guiyang 550018, China)

**Abstract:** This paper examines the evolution characteristics of the land use structure in karst valley areas on the basis of remote sensing images SPOT with a resolution of 2.5 m and their corresponding socio-economic data in the years of 2004, 2010 and 2015. This study is also conducted by creating a microspatial unit of 200 m × 200 m grid to calculate the composite index of the area proportion and land use degree in the inner part of the cell grid, in combination of bivariate local space autocorrelation and hot spot analysis. It is concluded that: (1) The average proportions of forest land, cultivated land, settlements and bare rock in grids in 2004 were 6.46%, 11.76%, 0.87%, and 28.86%, respectively; in 2010, they were 10.36%, 8.77%, 1.27%, and 27.13%, respectively; in 2015, they were 9.13%, 10.30%, 26.18%, and 1.29%, respectively. (2) Various land use types have obvious spatial differences in terms of spatial distribution. (3) Cultivated land hot spot showed a decreasing trend, and later focused on the southwestern part of the study area, the total hot spot area of the forest increased, and the hot spot of bare rock gradually shrank to the northeast of the study area. In recent years, the hot spot area of land use gradually extended to the northwest of the study area, and the *Zanthoxylum Bungeanum* forest was mainly distributed in the northern dry-hot valley. In short, the area of forest land in the Huajiang valley area increased, and it gradually evolved into concentrated contiguous areas, while the bare rocky land gradually shrank to the north and northeast of the valley area. The diversified development of farmers' livelihoods and the improvement of traffic conditions in the study area reduced land pressure and gradually improved the ecological environment. This paper, taking typical karst geomorphic units as case study areas, reveals the law of land use evolution and its internal differences in karst mountainous areas of Southwest China, which is of great significance to the research on the characteristics and law of land use evolution on a larger scale.

**Keywords:** Huajiang valley area; land use; grid; spatial autocorrelation; hot spot analysis