

# 黔桂岩溶山区土地利用程度演变的空间分异特征

张颖, 赵宇鸾

(贵州师范大学 地理与环境科学学院, 贵阳 550001)

**摘要:**采用空间自相关分析方法,借助 ArcGIS 和 GeoDa 软件,分析了 1990—2010 年黔桂岩溶山区垦殖系数、建设用地比例和土地利用程度综合指数变化的总体空间差异及局域空间分异特征。结果表明:(1) 1990—2010 年黔桂岩溶山区的垦殖系数、建设用地比例和土地利用程度综合指数变化的总体空间特征具有较显著的集聚性,土地利用程度综合指数变化的集聚趋势在增强,相反,垦殖系数、建设用地比例变化的集聚趋势却在减弱。(2) 1990—2010 年垦殖系数变化空间上整体集聚,但局部异质性增强;局部特征在空间上主要以北部“高一高”集聚(高垦殖系数集聚)和中部“低—低”集聚(低垦殖系数集聚)为主,在时间尺度方面局部变化较稳定。(3) 1990—2010 年建设用地比例变化空间整体集聚特征减弱,局部异质性增强;局部特征在空间上主要以南部“高一高”集聚(高建设用地比例)和中部“低—低”集聚(低建设用地比例)为主,在时间尺度方面演化的局域分异较显著,主要集中在北部、中部和南部。(4) 1990—2010 年土地利用程度综合指数变化空间上整体集聚且缓慢增强;局部特征在空间上主要以南北“高一高”集聚(高土地利用程度综合指数集聚)和中部“低—低”集聚(低土地利用程度综合指数集聚)为主,在时间方面演化的局域分异较显著,中部变化小、南北变化较大。

**关键词:**土地利用程度;空间分异;空间自相关;黔桂岩溶山区

**中图分类号:**F301.24

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2018)01-0287-11

## Spatial Difference of Land Use Degree Evolution in Guizhou-Guangxi Karst Mountainous Areas

ZHANG Ying, ZHAO Yuluan

(School of Geographic and Environmental Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China)

**Abstract:** Studying the spatial differences of land use degree evolution is of significance for mountainous areas to make policies according to local conditions. In this study, ArcGIS and GeoDa software were used for processing data resources, and we used the spatial autocorrelation method to analyze global spatial differences and local spatial disparities of cultivation coefficient, proportion of construction land and integrated index of land use degree in Guizhou-Guangxi karst mountainous areas from 1990 to 2010. The results are as follows. (1) During 1990—2010, the global spatial phenomenon of cultivation coefficient, proportion of construction land and integrated index of land use degree changes had a significant cluster in Guizhou-Guangxi karst mountainous areas. The agglomeration of integrated index of land use degree change had increased, on the contrary, the agglomeration of cultivation coefficient and proportion of construction land had declined. (2) During 1990—2010, the global spatial phenomenon of cultivation coefficient was agglomerated on the whole, but its local difference enhanced. Local spatial regions with ‘high—high’ correlation were mainly located in the north area, however, other regions with ‘low—low’ correlation distributed in the middle area. The local temporal changes of cultivation coefficient kept relatively stable. (3) From 1990 to 2010, the global spatial agglomerated phenomenon on the whole of proportion of construction land reduced, on the contrary, its local difference increased. Local spatial regions with ‘high—high’ correlation mainly were located in the south area, however, other regions with ‘low—low’ correlation distributed in the middle area. The local difference which was significant distributed in the north area, middle area and south area on the temporal change of proportion of construction land. (4) From 1990 to 2010, the global spatial phenomenon of integrated index

of land use degree was agglomerated on the whole and slowly strengthened. Local spatial regions with ‘high—high’ correlation were mainly located in the south area and north area, however, other regions with ‘low—low’ correlation distributed in the middle area. The local difference on the temporal change of integrated index of land use degree was significant, which distributed in the north, middle and south area.

**Keywords:** land use degree; spatial difference; spatial autocorrelation; Guizhou-Guangxi karst mountainous areas

土地作为一种稀缺性资源,其量的固定决定了人类活动过程中土地资源合理利用与开发的重要性,特别是在土地资源贫瘠的山区。土地利用形态体现了区域的社会发展状况和经济发展水平<sup>[1-2]</sup>,随着城市化的快速推进和农村劳动力人口的迅速外迁,山区土地资源利用类型发生了不同程度的变化。土地利用程度表示区域土地利用的广度和深度<sup>[3]</sup>,是人类活动和自然环境因素共同作用的结果,能较好地显示区域的土地资源利用情况。深入探索山区土地利用程度演变的空间分异特征,为有针对性地制定提高土地利用程度的政策措施提供依据。

实现集中连片特困地区的精准扶贫和精准脱贫是全面建成小康社会的重要前提。黔桂岩溶山区作为滇黔桂石漠化特困片区和乌蒙山特困区的重要组成部分,具有贫困面积大、贫困人口多、贫困程度深、返贫率高的特点<sup>[4]</sup>。该区是我国喀斯特集中分布的区域之一,生存条件恶劣、生态环境脆弱、人地矛盾突出、经济基础薄弱、人口压力大,但同时又有着发展经济、脱贫致富的丰富的自然资源<sup>[5]</sup>。近年来,黔桂岩溶山区土地系统变化及其驱动机制研究一直是学者们关注的焦点。在县域尺度的土地利用数量结构<sup>[6]</sup>、多尺度的土地利用数量结构和程度<sup>[7]</sup>、土地利用的变化对生态环境和生态服务价值的影响<sup>[8-9]</sup>、土地利用系统的有序性<sup>[10-11]</sup>、土地利用的驱动机制<sup>[12-13]</sup>、土地利用程度与山区类型耦合特征分析<sup>[14]</sup>等研究方面开展了许多工作。但多数集中以行政区划或小流域为研究样区进行土地利用变化探讨,缺乏对区域内部的空间分异演变进行深入探索。

综上,在土地资源贫瘠、贫困程度较深的山区进行土地利用程度演变的空间分异研究,能够为扶贫开发中因地制宜的制定差异化土地利用政策提供参考。

## 1 研究区概况

黔桂岩溶山区位于我国西南地区,土地面积约 21 万 km<sup>2</sup>,地处贵州高原向广西丘陵盆地过渡地带,地势大致由北向南逐渐降低,是我国长江、珠江上游重要的生态屏障。同时,黔桂岩溶山区属中国南方喀斯特分布中心,是我国典型的生态环境脆弱区,区域喀斯特地貌面积分布广、土地资源质量差、水土流失和石漠化严重、旱

涝灾害频发。脆弱的生态环境直接影响、制约着区域工业、农业、交通、城建、生态和旅游等各方面的建设<sup>[15]</sup>,贫困面积广、贫困人口多、贫困程度深、少数民族聚集、区域发展理念落后等人文环境又进一步阻碍着地方经济社会发展。该区经济社会发展仍处于欠发达阶段,贫困人口规模大、农村贫困发生率较高是黔桂岩溶山区社会现状的一个鲜明特点,是打赢“脱贫攻坚战”面临的一个棘手问题。2015 年黔、桂两省农村贫困人口分别为 493 万人、452 万人,占全国农村贫困人口总和的 17.13%。2015 年黔、桂两省区农村贫困发生率分别为 14%,9.10%。研究黔桂岩溶山区土地利用程度演变的空间分异特征,有利于提高该区土地资源对区域经济社会发展的保障水平。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源与处理

研究使用 1990 年、2000 年、2010 年三期的土地覆被数据皆来自中国科学院山地表生过程与生态调控重点实验室。分别提取各时段的耕地、建设用地、林地和草地等土地利用类型,以县域为单位,计算 1990 年、2000 年、2010 年各县级行政单元的垦殖系数、建设用地比例和土地利用程度综合指数,再利用 Geoda 软件提取三个指标的空间分异特征。

### 2.2 研究方法

2.2.1 土地利用程度指数测算 采用垦殖系数、建设用地比例和土地利用程度综合指数( $L_a$ )来量化区域土地利用程度。垦殖系数是指区域耕地面积占土地总面积的百分比,表示区域农业土地资源的开发广度;建设用地比重即区域建设用地面积占土地总面积的比例,反映区域工业化、城镇化发展水平。土地利用程度综合指数计算公式如下<sup>[16]</sup>:

$$L_a = \sum_{i=1}^n A_i \times C_i \times 100 \quad (L_a \in 100, 400) \quad (1)$$

式中: $L_a$ 为土地利用程度综合指数; $A_i$ 是第  $i$  级的土地利用程度分级指数; $C_i$ 是第  $i$  级土地利用程度分级面积百分比。土地利用程度分级指数是根据区域土地利用强度赋值<sup>[16]</sup>,未利用地或难利用地的分级指数为 1,林地、草地和水域的分级指数赋值为 2,耕地、

园地和人工草地的分级指数为 3,城镇、居民点、工矿用地和交通用地的分级指数赋为 4。

## 2.2.2 空间分异特征测度

(1) 全局空间自相关。全局空间自相关可以定量描述区域某种地理现象在空间上的整体分布状况和差异程度<sup>[17]</sup>。本研究采用常用的 Global Moran's  $I$  指数来测度黔桂岩溶山区垦殖系数、建设用地比例和土地利用程度综合指数的全局空间自相关程度。

Global Moran's  $I$  指数计算公式为<sup>[18]</sup>:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n W_{ij} (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n W_{ij}} \quad (2)$$

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$$

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

式中: $X_i$ 是研究单元  $i$  的地理属性观测值; $\bar{X}$ 为区域变量的平均值; $S^2$ 为均方差; $W_{ij}$ 为空间权重矩阵  $W_{(n \times n)}$ ,可由空间距离与空间拓扑实现。标准化  $Z_{\text{Score}}$  常用于检验 Moran's  $I$  的显著性水平:

$$Z_{\text{Score}} = \frac{1 - E(I)}{\sqrt{\text{var}(I)}} \quad (3)$$

式中: $E(I)$ 与  $\text{var}(I)$ 分别为 Moran's  $I$  的期望值与方差。当  $|Z_{\text{Score}}| > 1.96$  ( $\alpha = 0.05$ ),可以拒绝零假设  $H_0$  ( $n$  个空间对象的属性值不存在空间自相关性),变量在空间上存在显著的空间自相关性。 $I$  的取值范围  $[-1, 1]$ ,当  $I > 0$ ,全局空间自相关呈正相关,说明地理对象存在集聚特征;当  $I < 0$ ,表明负相关关系,说明地理对象存在离散现象; $I$  的绝对值越大,说明相关程度越高;当  $I = 0$ ,地理对象则呈随机分布,不存在空间自相关性。

(2) 局域空间自相关。局域空间自相关刻画局域内部异质性的分布状况,度量某一区域单元与其周边区域的空间差异程度<sup>[17]</sup>。局域空间关联性指标 Local Moran's  $I$  数学模型<sup>[18]</sup>:

$$I_i = Z_i \sum_{j=1}^n W_{ij} z_j \quad (i \neq j) \quad (4)$$

式中: $Z_i, Z_j$  分别为研究单元  $i$  与  $j$  观测值的标准化值; $W_{ij}$ 为空间权重。通常亦采用  $Z_{\text{Score}}$  值检验局域空间关联的显著性程度。在某显著水平  $\alpha$  下,若  $I_i$  大于 0,则研究单元  $i$  与周围区域空间差异小,呈正相关性,即高值被高值包围(H—H 型)或低值被低值包围(L—L 型);若  $I_i$  小于 0,研究单元  $i$  与其周边区域存在显著的差异,呈负相关性,即低值被高值包围(L—

H 型)或者高值被低值包围(H—L 型)。

同时, Moran 散点图在空间自相关分析中能够直观表征空间自相关程度。在 Moran 散点图的基础上,可生成 LISA(Local Indicators of Spatial Association)聚类图,更直观描述局域空间的空间关联情况,诊断局域空间集聚的“正负”特征。

## 3 结果与分析

### 3.1 总体空间分异特征

3.1.1 垦殖系数总体空间差异 以县域为研究单元,垦殖系数的变化比例为统计变量,绘制 1990—2010 年黔桂岩溶山区垦殖系数的空间分布图(图 1)。为更清晰地了解 1990—2010 年垦殖系数的变化趋势,将研究阶段划分为三个时段,1990—2000 年为第一时段 I,2000—2010 年为第二时段 II,1990—2010 年为第三时段 III。其中,时段 III 代表总体的空间演变特征。利用 GeoDa 软件,分别计算三个阶段的 Global Moran's  $I_i$  值(表 1)。除时段 II 外,时段 I 和时段 III 的垦殖系数变化比例皆通过显著性水平  $\alpha = 0.05$  的检验,时段 III 的全局莫兰指数为 0.131 3,表明 1990—2010 年黔桂岩溶山区垦殖系数变化的区域分布存在较显著的集聚特征,即垦殖系数变化快的区域周边区域变化也快,反之亦然;垦殖系数比例变化的 Global Moran's  $I_i$  值由时段 I 的 0.137 8 下降为时段 III 的 0.131 3,减少了 0.006 5,表明黔桂岩溶山区垦殖系数变化的空间分布呈现集聚的趋势在减弱。

3.1.2 建设用地总体空间差异 以县域为基础单元,建设用地变化比例为统计变量,绘制 1990—2010 年黔桂岩溶山区建设用地比例的空间变化图(图 2)。为更清晰地了解 1990—2010 年建设用地比例变化趋势,将研究阶段划分为三个时段,分别计算三个时段的 Global Moran's  $I_i$  值(表 2)。时段 I 和时段 III 的建设用地比例变化皆通过显著性水平  $\alpha = 0.05$  的检验,时段 III 的全局莫兰指数为 0.175 7,表明 1990—2010 年黔桂岩溶山区建设用地比例变化的区域分布存在较显著的集聚特征,即建设用地比例变化快的区域周边区域变化也快,反之亦然;建设用地比例变化的 Global Moran's  $I_i$  值由时段 I 的 0.224 3 下降为时段 III 的 0.175 7,减少了 0.048 6,表明黔桂岩溶山区建设用地比例变化的空间分布呈现集聚的趋势在减弱。

3.1.3 土地利用程度综合指数总体空间差异 以县域为基础单元,土地利用程度综合指数为统计变量,绘制 1990—2010 年黔桂岩溶山区土地利用程度综合指数的空间变化图(图 3)。为更清晰地了解 1990—2010 年土地利用程度综合指数变化趋势,将研究阶

段划分为三个时段。利用 Geoda 软件,分别计算三个阶段的 Global Moran's  $I_i$  值(表 3)。时段 I 和时段 III 的土地利用程度综合指数变化皆通过显著性水平  $\alpha=0.05$  的检验。时段 III 土地利用程度综合指数的 Global Moran's  $I_i$  值为 0.157 8 表明 1990—2010 年黔桂岩溶山区土地利用程度综合指数变化的区域分

布存在较显著的集聚特征,即土地利用程度综合指数变化快的区域周边区域变化也快,反之亦然;土地利用程度综合指数变化的 Global Moran's  $I_i$  值由时段 I 的 0.148 增加为时段 III 的 0.157 8,增加了 0.009 8,表明黔桂岩溶山区土地利用程度综合指数变化的空间分布呈现集聚的趋势在增强。

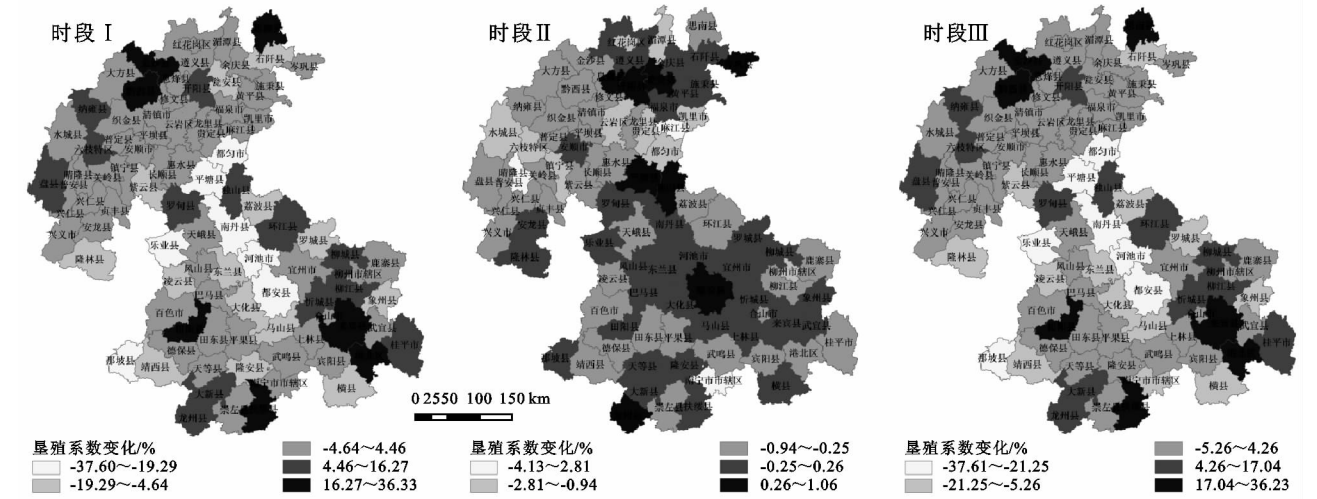


图 1 1990—2010 年垦殖系数变化空间分布

表 1 1990—2000 年垦殖系数变化的 Global Moran's  $I_i$  值

土地利用程度指标	时段	年份	Global Moran's $I_i$	$E(I)$	$Z_{Score}$	阈值( $\alpha=0.05$ )
垦殖系数	I	1990—2000	0.1378	-0.0111	3.2588	1.96
	II	2000—2010	0.0657	-0.0111	1.7329	1.96
	III	1990—2010	0.1313	-0.0111	3.2222	1.96

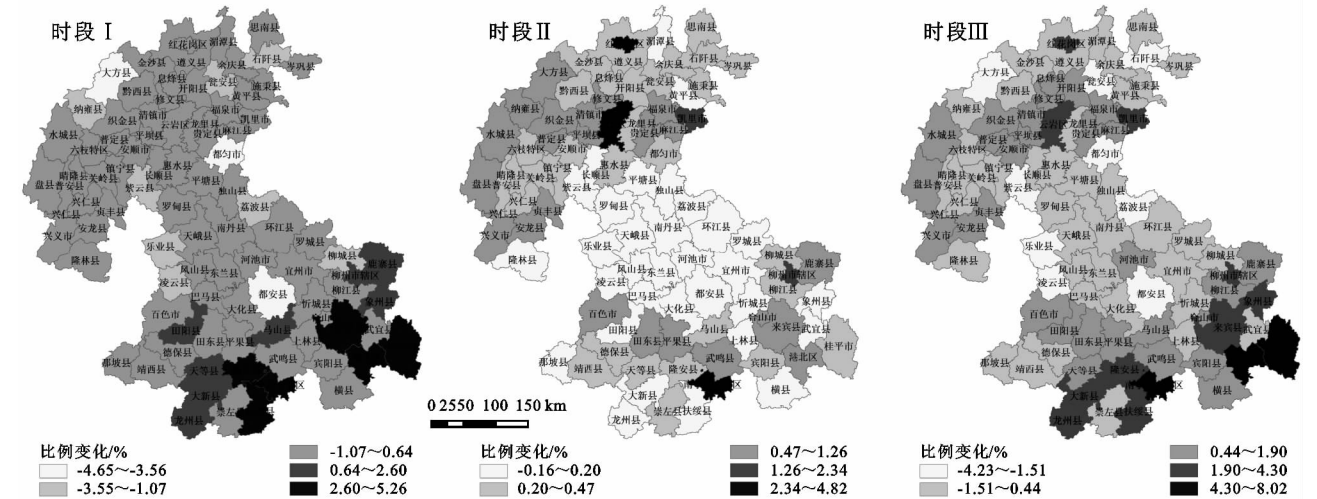


图 2 1990—2010 年建设用地比例变化空间分布

表 2 1990—2000 年建设用地比例变化的 Global Moran's  $I_i$  值

土地利用程度指标	时段	年份	Global Moran's $I_i$	$E(I)$	$Z_{Score}$	阈值( $\alpha=0.05$ )
建设用地比例	I	1990—2000	0.2243	-0.0111	5.0269	1.96
	II	2000—2010	0.0018	-0.0111	0.321	1.96
	III	1990—2010	0.1757	-0.0111	4.1322	1.96

3.2 局部空间分异特征

3.2.1 垦殖系数局域空间差异 运用 GeoDa 软件分别计算时段 I、时段 II 和时段 III 各县域垦殖系数变

化的 Local Moran's  $I_i$  值,探讨 1990—2010 年黔桂岩溶山区垦殖系数变化的局域格局特征。总体来看,

1990—2010 年的 Local Moran's  $I_i$  值范围在 -1.075 4 至 2.624 3(表 4), 平均值为 0.129 9, 极差为 3.699 7, 约 75% 的区域垦殖系数变化具有明显的集聚性, 约 25% 的县与周边地区垦殖系数变化呈现明显的不同。其中, 时段 I 的局部 Moran's  $I_i$  最大值为 2.752 4 的河池市辖区, 最小值为 -1.012 8 的那坡县, 极差为

3.765 2; 时段 II 的局部 Moran's  $I_i$  最大值为 1.619 5 的晴隆县, 最小值为 -0.929 6 的独山县, 极差为 2.549 11; Local Moran's  $I_i$  正值比率由时段 I 的 76% 下降到时段 III 的 75%, 负值的比率上升为 25%, 表明黔桂岩溶山区垦殖系数变化呈现空间上整体集聚, 但局部异质性增强的特征。

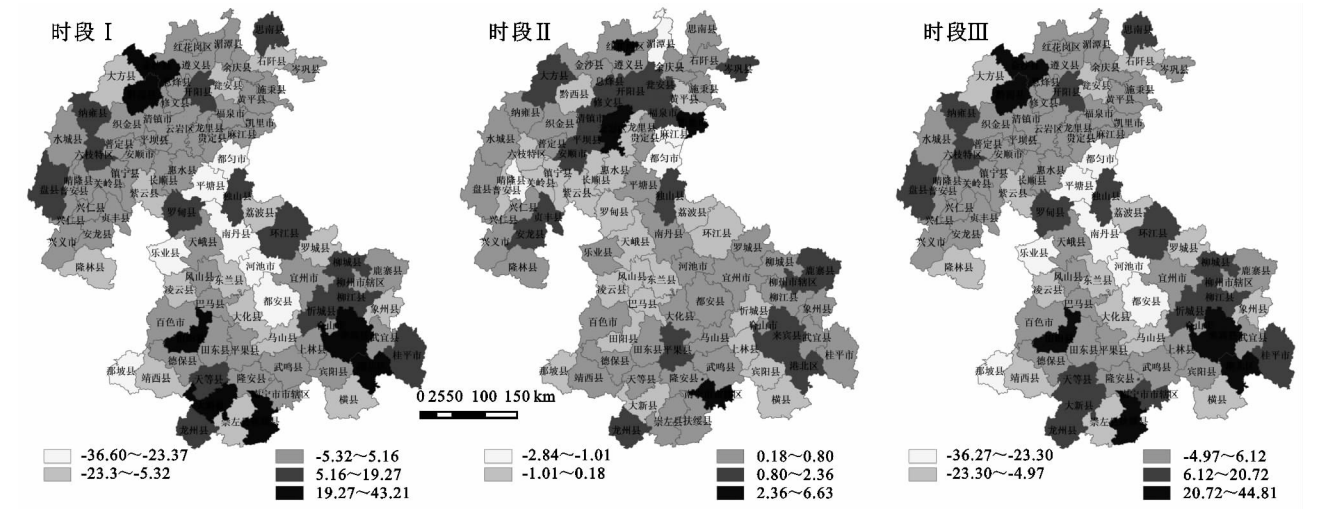


图 3 1990—2010 年  $I_a$  变化空间分布

表 3 1990—2000 年土地利用程度综合指数变化的 Global Moran's  $I_i$  值

土地利用程度指标	时段	年份	Global Moran's $I_i$	$E(I)$	$Z_{Score}$	阈值( $\alpha=0.05$ )
土地利用程度 综合指数	I	1990—2000	0.148	-0.0111	3.26	1.96
	II	2000—2010	0.018	-0.0111	0.6321	1.96
	III	1990—2010	0.1578	-0.0111	3.1322	1.96

表 4 1990—2010 年垦殖系数变化的 Local Moran's  $I_i$  相关参数

时段	最小值	最大值	平均值	Moran's $I_i$ (+)	Moran's $I_i$ (-)	变化幅度
时段 I	-1.0128	2.7524	0.1363	76.280	23.720	3.7652
时段 II	-0.9296	1.6195	0.0650	66.603	33.397	2.5491
时段 III	-1.0754	2.6243	0.1299	75.167	24.833	3.6997

为更好地探究垦殖系数变化的局部空间分布特征, 借助 GeoDa 软件, 测算时段 I、时段 II 和时段 III 各县域的变量  $i$  及其空间滞后向量  $W_i$ , 以其分别作为横、纵坐标绘制时段 I、时段 II 和时段 III 的局部 Moran's  $I_i$  值散点图, 即以各县域观测值的标准化值 (Stdi) 作为横坐标, 各县域观测值对应的空间滞后向量 (Lagi) 为纵坐标, 生成各时段的垦殖系数变化局部 Moran's  $I_i$  值散点图(图 4)。当 Stdi > 0 时, 研究单元的垦殖系数属于变化较快的区域, 反之属于变化较慢区域。1990—2010 年 Stdi 大于 0 的区域占 49.45%(表 5), Stdi 大于 0 的比例由时段 I 的 48.35% 增加至时段 III 的 49.45%, 从空间关联度的角度来说, 黔桂岩溶山区垦殖系数变化相对较快的区域在增加。

当 Lagi > 0, 表明研究单元垦殖系数的周围区域属于变化较快的区域, 反之属于变化较慢的区域。

1990—2010 年 Lagi > 0 的区域占 56.04%(表 5), Lagi 值在时段 I 至时段 III 的比例未变, 在时间角度方面, 表明黔桂岩溶山区垦殖系数的周围区域变化情况较稳定。

表 5 1990—2010 年垦殖系数变化的 Stdi 和 Lagi 比率

时段	Stdi > 0 比率	Stdi < 0 比率	Lagi > 0 比率	Lagi < 0 比率
I	48.35	51.65	56.04	43.96
II	59.34	40.66	53.85	46.15
III	49.45	50.55	56.04	43.96

根据 Stdi 和 Lagi 的属性组合, 可将垦殖系数变化的局部特征生成正、负两种空间关联形式、四种局部特征类型的 LISA 图(图 5)。1990—2010 年垦殖系数变化的局部空间特征(图 5C), H—H 类型分布于黔西北人口密度较高的大方县、织金县、息烽县和桂中地区的武宣县, 共 4 个县域; L—L 类型集中分布在黔桂两省交界处的荔波县、南丹县、河池市、东南县、

都安县和大化县 6 个县级行政单元,该区域是少数民族重要聚集地且人口密度较低;属于 L—H 类型的有修文县、横县和象州县 3 个县域,属于 H—L 类型的有罗甸县、天峨县、凤山县、独山县和环江县 5 个县域。分时段来看,属于 H—H 类型的数量由时段 I 的 3 个增加至时段 III 的 4 个,变化的是息烽县,由 L—H 类型转变为 H—H 类型;L—L 类型的数量由时段 I 的 6 个县下降为时段 III 的 5 个,其中,乐业县由 L—L 类型转变为不明显变化。黔桂岩溶山区垦殖系数变化的局部特征在空间上主要以北部“高一高”集聚和中部黔桂两省交界“低—低”集聚为主,在时间尺度方

面演化的局域分异不显著,垦殖系数的局部变化较稳定。为了进一步验证垦殖系数变化空间格局的测度结果,以县政府所在地作为离散点,利用 ArcGIS 软件的空间分析工具,采用 IDW 插值法分别对时段 I、时段 II 和时段 III 的各县局部 Moran's  $I_i$  值进行空间化,生成黔桂岩溶山区三期垦殖系数变化的空间分异图(图 6)。从 Grid 空间分异图可以看出,黔桂岩溶山区垦殖系数变化的空间格局呈现较显著的区域化分异特征,研究区中部和北部集聚特征明显。与垦殖系数变化 LISA 图对比发现,正是 H—H 类型和 L—L 类型的主要分布区域。

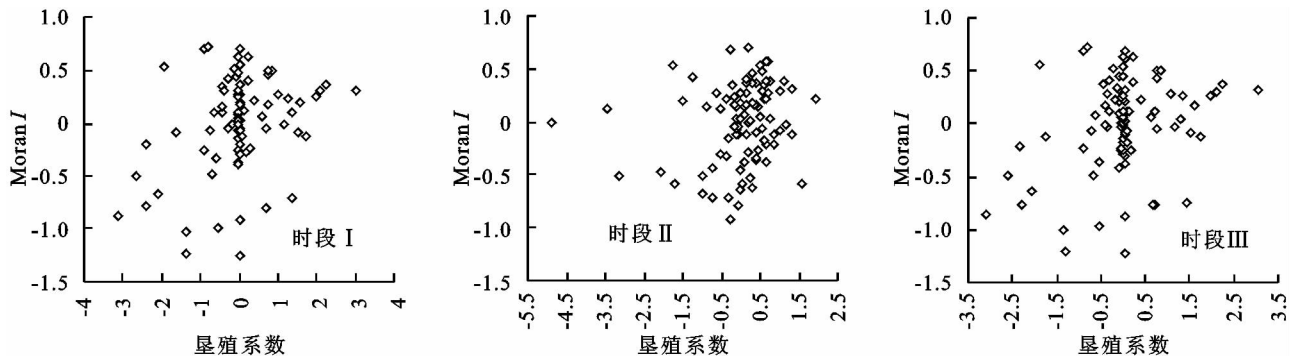


图 4 1990—2010 年垦殖系数变化的 Moran 散点图

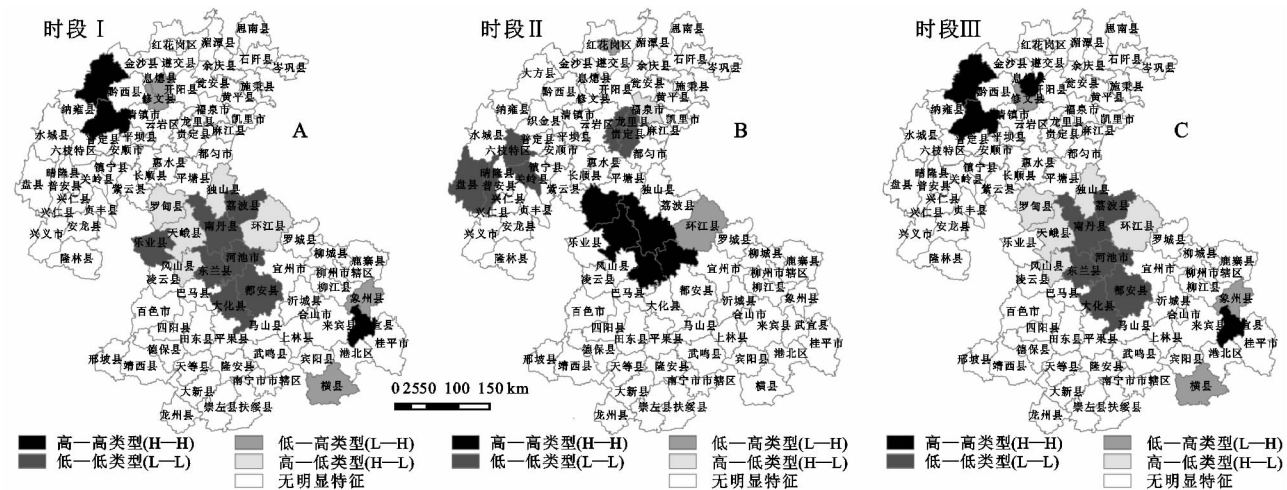


图 5 1990—2010 年垦殖系数变化的 LISA 集聚图

3.2.2 建设用地局域空间差异 运用 Geoda 软件分别计算时段 I、时段 II 和时段 III 各县域研究单元建设用地比例变化的 Local Moran's  $I_i$  值,探讨 1990—2010 年黔桂岩溶山区建设用地比例变化的局部格局特征。总体来看,研究期 1990—2010 年的局部 Moran's  $I_i$  值范围在 -0.818 6 至 2.013 1 (表 6),平均值为 0.173 8,极差为 2.831 7,约 85% 的区域建设用地比例变化具有明显的集聚性,约 15% 的县与周边地区建设用地比例变化呈现明显的异质性。其中,时段 I 的局部 Moran's  $I_i$  最大值为 3.019 7 的贵港市,最小值为 -0.828 0 的崇左县,极差为 3.847 7;时段 III 的局部 Moran's  $I_i$  最大值为

2.013 1 的东兰县,最小值为 -0.818 6 的南宁市辖区,极差为 2.831 7;Local Moran's  $I_i$  正值比率由时段 I 的 91% 下降到时段 III 的 85%,负值的比率上升为 15%,表明研究期(1990—2010 年)间黔桂岩溶山区建设用地比例变化空间整体集聚特征减弱,局部异质性增强。为更好地探究建设用地比例变化的局部空间分布特征,借助 Geoda 软件,测算时段 I、时段 II 和时段 III 各县域的变量  $i$  及其空间滞后向量  $W_i$ ,以其分别作为横、纵坐标绘制时段 I、时段 II 和时段 III 的局部 Moran's  $I_i$  值散点图,即以各县域观测值的标准化值(Std*i*)作为横坐标,各县域观测值对应的空间滞后向量(Lag*i*)为纵坐标,生

成各时段的建设用地比例变化局部 Moran's  $I_i$  值散点图(图 7)。当  $Stdi>0$  时,研究单元的垦殖系数属于变化较快的区域,反之属于变化较慢区域。 $Stdi$  大于 0 的比例

由时段 I 的 31.87% 增加至时段 III 的 38.46%(表 7),从空间关联度的角度来说,黔桂岩溶山区建设用地比例变化相对较快的区域在增加。

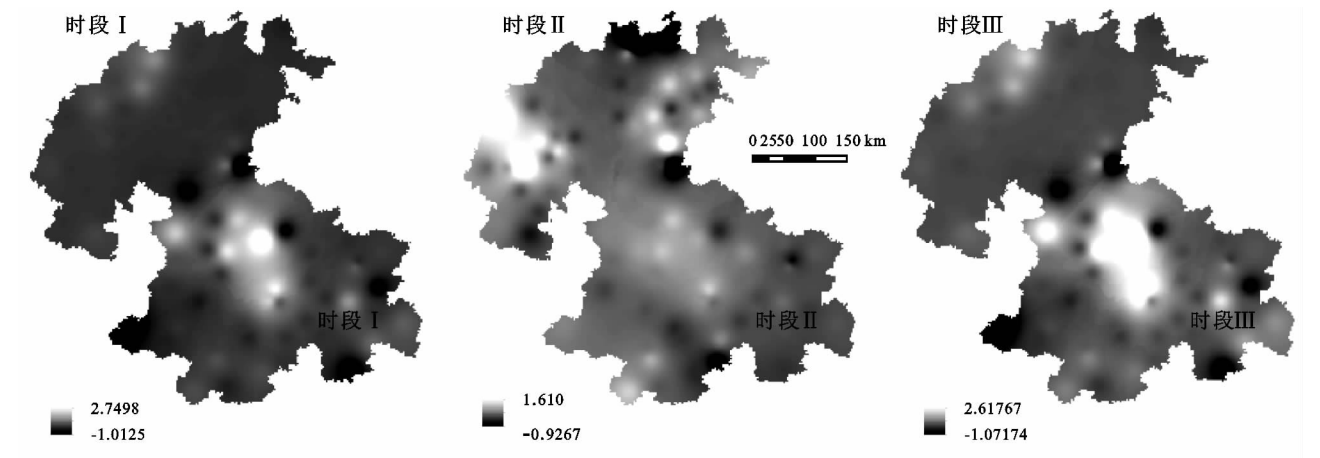


图 6 1990—2010 年垦殖系数变化的 Local Moran's  $I_i$  空间分异

表 6 1990—2010 年建设用地比例变化的 Local Moran's  $I_i$  相关参数

时段	最小值	最大值	均值	Moran's $I_i$ (+)	Moran's $I_i$ (-)	变化幅度
时段 I	-0.8280	3.0197	0.2218	90.7583	9.2417	3.8477
时段 II	-1.0731	0.3906	0.0018	50.6218	49.3782	1.4637
时段 III	-0.8186	2.0131	0.1738	85.3656	14.6344	2.8317

当  $Lagi>0$ ,表明研究单元建设用地比例的周围区域属于变化较快的区域,反之属于变化较慢的区域。 $Lagi$  值比例由时段 I 的 32.97% 增加至时段 III 的 41.76%(表 7),在时间角度方面进一步证实了  $Stdi$  反映的趋势。

表 7 1990—2010 年建设用地比例变化的  $Stdi$  和  $Lagi$  比率

时段	std>0 比率	std<0 比率	lag>0 比率	lag<0 比率
I	31.87	68.13	32.97	67.03
II	48.35	51.65	30.77	69.23
III	38.46	61.54	41.76	58.24

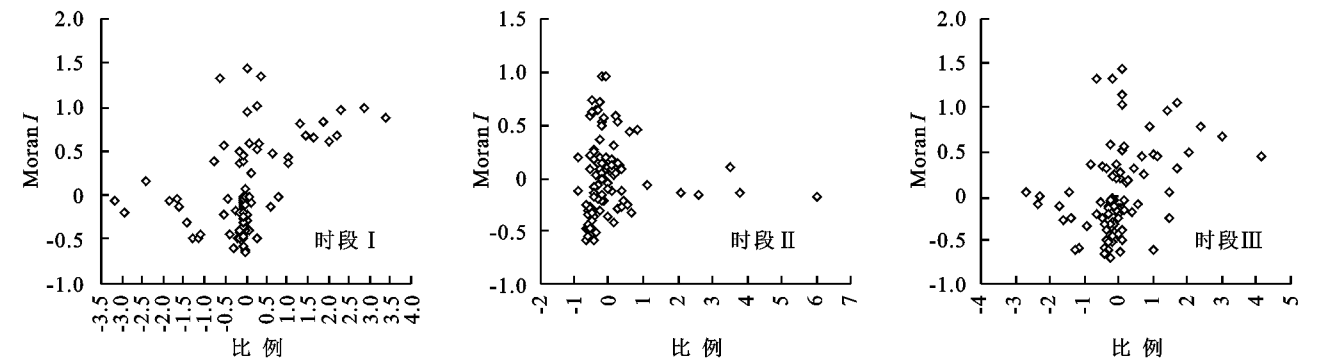


图 7 1990—2010 年建设用地比例变化的 Moran 散点图

根据  $Stdi$  和  $Lagi$  的属性组合,可将建设用地比例变化的局部特征生成为正、负两种空间关联形式、四种局部特征类型的 LISA 图(图 8)。1990—2010 年(图 8C),建设用地比例变化的局部空间特征属于 H—H 类型的集中分布于研究区南部的广西区域,主要有扶绥县、隆安县、武鸣县、宾阳县、横县、港北区、桂平县和象州县 8 个县域;L—L 类型集中分布在黔桂两省交界处的平塘县、独山县、荔波县、罗甸县、天峨县、乐业县、东兰县和环江县 8 个县域,该区域是少数民族重要聚集地且人口密度较低;属于 L—H 类型

的有崇左县和武宜县,属于 H—L 类型的有河池市辖区和凯里市。分时段来看,属于 H—H 类型的数量由时段 I 的 13 个减少至时段 III 的 8 个,龙州县、大新县、南宁市辖区、来宾县转变为不显著类型,武宜县由 H—H 类型转变为 L—H 类型;L—L 类型的数量由时段 I 的 6 个县增加至时段 III 的 8 个,独山县和环江县保持 L—L 类型不变,织金县、福泉市和麻江县由时段 I 的 L—L 类型转变为时段 III 的无显著类型,凯里市转变为 H—L 类型,其余县级行政单元平塘县、荔波县、罗甸县、天峨县、乐业县和东兰县皆由时段 I



无显著类型转为时段Ⅲ的 L—L 类型; H—L 类型的数量从时段Ⅰ的无记录升上为时段Ⅲ的 2 个, 分别是河池市辖区和凯里市; L—H 类型的数量由时段Ⅰ的 1 个增加至时段Ⅲ的 2 个, 除崇左县保持 L—H 类型特征外, 武宣县由时段Ⅰ的 H—H 类型转为 L—H 类

型。在空间上, 黔桂岩溶山区建设用地比例南部“高一高”集聚, 中部黔桂两省交界“低—低”集聚, 区域空间集聚分异特征较明显。在时间尺度方面, 黔桂岩溶山区建设用地比例局部变化较显著, 主要集中在北部、中部和南部。

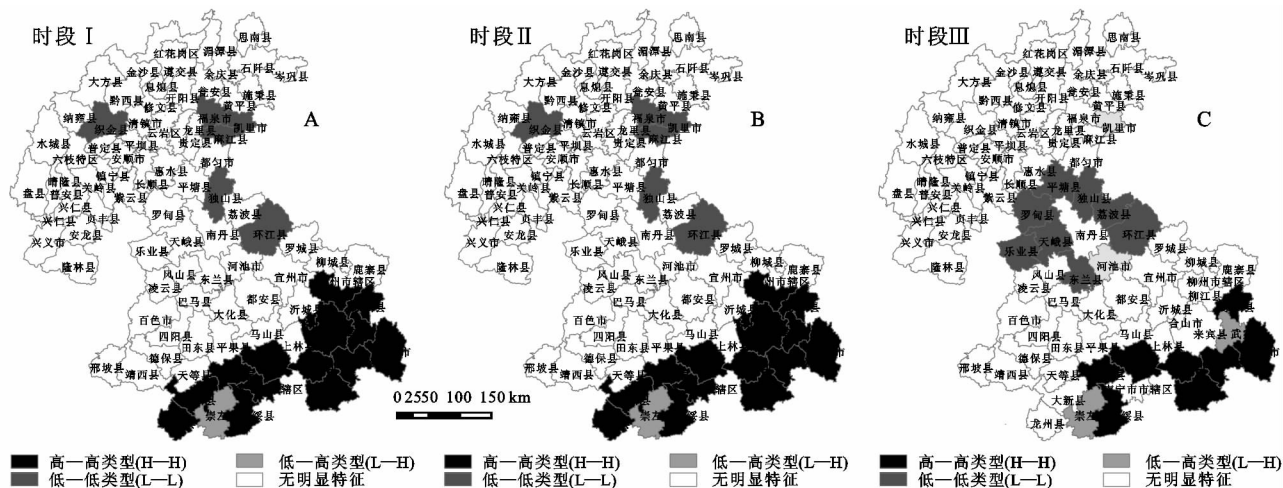


图 8 1990—2010 年建设用地比例变化的 LISA 集聚图

为了进一步验证建设用地比例变化空间格局的测度结果, 以县政府所在地作为离散点, 利用 ArcGIS 软件的空间分析工具, 采用 IDW 插值法分别对时段Ⅰ、时段Ⅱ和时段Ⅲ的各县局部 Moran's  $I_i$  值进行空间化, 得到黔桂岩溶山区三期建设用地比例变化的空

间分异图(图 9)。由 Grid 空间分异图可以看出, 黔桂岩溶山区建设用地比例变化的空间格局呈现较显著的区域化分异特征, 研究区北部、中部和南部集聚特征明显。与建设用地比例变化 LISA 图对比发现, 正是 H—H 类型和 L—L 类型的主要分布区域。

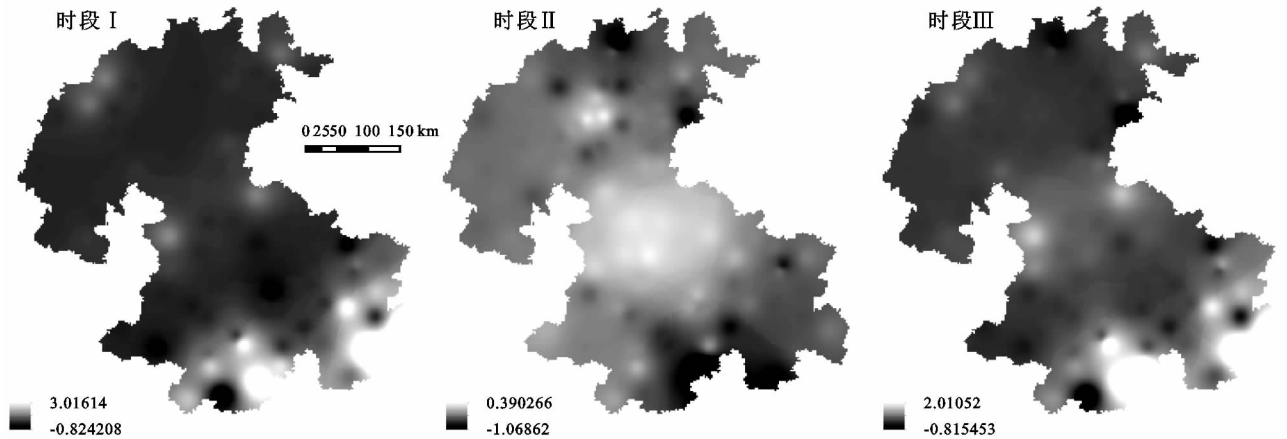


图 9 1990—2010 年建设用地比例变化的 Local Moran's  $I_i$  空间分异

3.2.3 土地利用程度综合指数局域空间差异 探讨 1990—2010 年黔桂岩溶山区土地利用程度综合指数变化的局部格局特征, 运用 Geoda 软件分别计算时段Ⅰ、时段Ⅱ和时段Ⅲ各县域研究单元土地利用程度综合指数变化的 Local Moran's  $I_i$  值。

总体来看, 1990—2010 年的局部 Moran's  $I_i$  值范围在 -0.987 8 至 2.461 9 (表 8), 平均值为 0.156 1, 极差为 3.449 7, 约 78% 的区域土地利用程度综合指数变化具有明显的集聚性, 约 22% 的县与周边地区土地利用程度综合指数变化呈现明显的不同。其中, 时段Ⅰ的

局部 Moran's  $I_i$  最大值为 2.413 1 的河池市辖区, 最小值为 -1.006 0 的那坡县, 极差为 3.419 1; 时段Ⅲ的局部 Moran's  $I_i$  最大值为 2.461 9 的晴隆县, 最小值为 -0.987 8 的独山县, 极差为 3.449 7; Local Moran's  $I_i$  正值比率由时段Ⅰ的 77% 上升到时段Ⅲ的 78%, 负值的比率下降为 22%, 表明黔桂岩溶山区土地利用程度综合指数变化呈现空间上整体集聚且缓慢增强。

为更好地探究土地利用程度综合指数变化的局部空间分布特征, 借助 Geoda 软件, 测算时段Ⅰ、时段Ⅱ和时段Ⅲ各县域的变量  $i$  及其空间滞后向量  $W_i$ , 以其分



别作为横、纵坐标绘制时段 I、时段 II 和时段 III 的局部 Moran's  $I_i$  值散点图,即以各县域观测值的标准化值 (Stdi) 作为横坐标,各县域观测值对应的空间滞后向量 (Lagi) 为纵坐标,生成各时段的土地利用程度综合指数变化局部 Moran's  $I_i$  值散点图(图 10)。当 Stdi>0

表 8 1990—2010 年土地利用程度综合指数变化的 Local Moran's  $I_i$  相关参数

时段	最小值	最大值	均值	Moran's $I_i$ (+)	Moran's $I_i$ (—)	变化幅度
时段 I	-1.0060	2.4131	0.1464	77.1946	22.8504	3.4191
时段 II	-1.2092	0.8487	0.1776	55.3741	44.6259	2.0579
时段 III	-0.9878	2.4619	0.1561	77.9666	22.0334	3.4497

当 Lagi>0,表明研究单元土地利用程度综合指数的周围区域属于变化较快的区域,反之属于变化较慢的区域。Lagi 值比例由时段 I 的 38.46% 增加至时段 III 的 50.55%(表 9),在时间角度方面进一步证实了 Stdi 显示的趋势。

据 Stdi 和 Lagi 的属性组合,可将土地利用程度综合指数变化的局部特征生成为正、负两种空间关联形式、四种局部特征类型的 LISA 图(图 11)。1990—2010

时,研究单元的土地利用程度综合指数属于变化较快的区域,反之属于变化较慢区域。Stdi 大于 0 的比例由时段 I 的 57.14% 增加至时段 III 的 58.24%(表 9),从空间关联度的角度来说,黔桂岩溶山区土地利用程度综合指数变化相对较快的区域有所增加。

年,土地利用程度综合指数变化局部空间特征属于 H—H 类型的主要分布于研究区东南部的广西桂平县、宾阳县、柳江县和黔中地区的息烽县和修文县;L—L 类型集中分布在黔桂两省交界处的荔波县、南丹县、天峨县、乐业县、凤山县、东兰县、大化县、都安县和河池市辖区 9 个县域,该区域是少数民族重要聚集地且人口密度较低;属于 L—H 类型的有崇左县、横县、武宜县和象州县,属于 H—L 类型的有环江县、罗甸县和独山县。

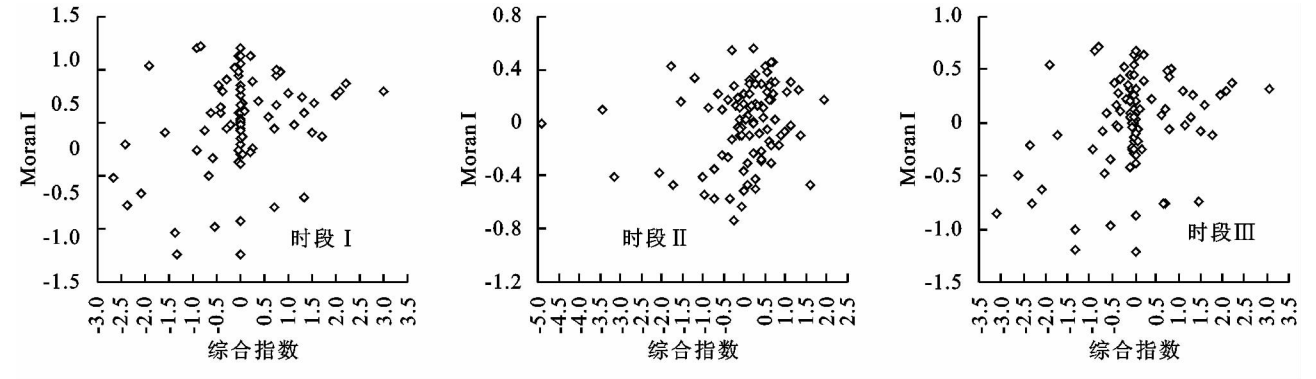


图 10 1990—2010 年土地利用程度综合指数变化的 Moran 散点图

表 9 1990—2010 年土地利用程度综合指数变化的 Stdi 和 Lagi 比率

时段	std>0 比率	std<0 比率	lag>0 比率	lag<0 比率
I	57.14	42.86	38.46	61.54
II	39.56	60.44	37.36	62.64
III	58.24	41.76	50.55	49.45

分时段来看,属于 H—H 类型的数量由时段 I 的 4 个增加至时段 III 的 5 个,息烽县由不显著类型转为 H—H 类型,修文县由 L—H 类型转为 H—H 类型,武宜县由 H—H 类型转变为 L—H 类型;L—L 类型和 H—L 类型的数量、县域皆保持不变;L—H 类型的数量由时段 I 的 5 个下降至时段 III 的 4 个,修文县由 L—H 类型转为 H—H 类型,那坡县由 L—H 类型转为不显著类型,武宜县由 H—H 类型转变为 L—H 类型。在空间上,土地利用程度综合指数南北“高一高”集聚,中部黔桂两省交界“低—低”集聚,集聚特征明显。在时间方面,黔桂岩溶山区土地利用程度综合指数局部分异较明显,中部变化小,南北变化较大。

为了进一步验证土地利用程度综合指数变化空间格局的测度结果,以县政府所在地作为离散点,利用 ArcGIS 软件的空间分析工具,采用 IDW 插值法分别对时段 I、时段 II 和时段 III 的各县局部 Moran's  $I_i$  值进行空间化,得到黔桂岩溶山区三期土地利用程度综合指数变化的空间分异图(图 12)。由 Grid 空间分异图可以看出,黔桂岩溶山区土地利用程度综合指数变化的空间格局呈现较显著的区域化分异特征,研究区中部集聚特征最显著,其次是东南部和北部。与土地利用程度综合指数变化 LISA 图对比发现,正是 L—L 类型和 H—H 类型的主要分布区域。

4 结论与讨论

4.1 结论

研究在 ArcGIS 和 GeoDa 软件的支持下,利用空间自相关分析方法,采用垦殖系数、建设用地比例和土地利用综合程度指数来量化土地利用程度,探讨 1990—2010 年黔桂岩溶山区土地利用程度空间分异特征演变,主要得出以下结论:

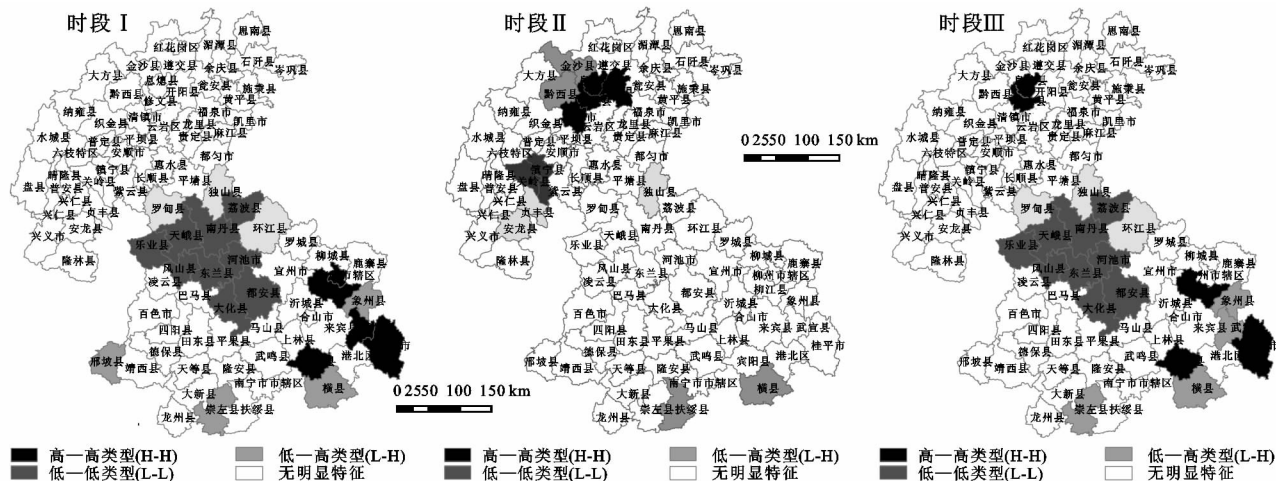
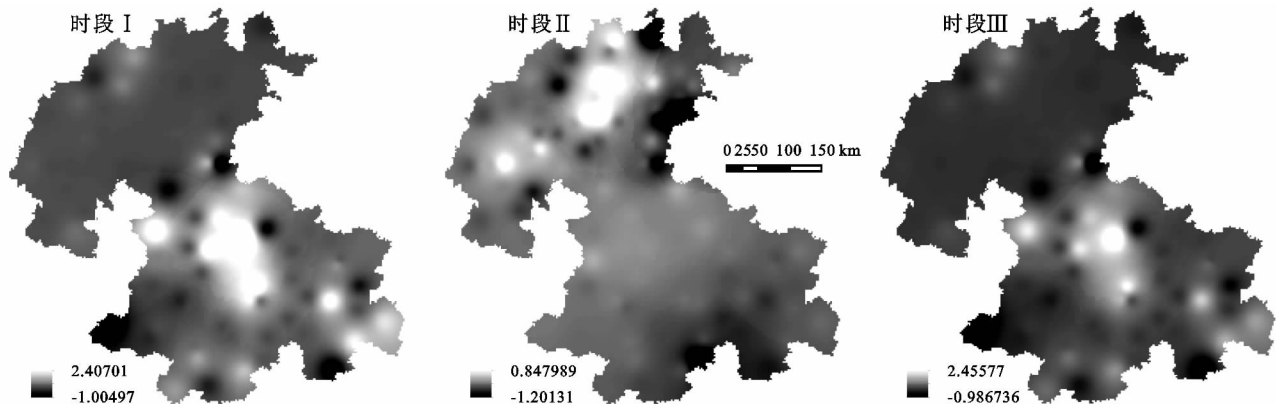


图 11 1990—2010 年土地利用程度综合指数变化的 LISA 集聚图

图 12 1990—2010 年土地利用程度综合指数变化的 Local Moran's  $I_i$  空间分异

(1) 1990—2010 年黔桂岩溶山区的垦殖系数、建设用地比例和土地利用程度综合指数变化的总体空间特征具有较显著的集聚性,即垦殖系数、建设用地比例和土地利用程度综合指数变化快的区域周边区域变化也快,反之亦然。

(2) 土地利用程度综合指数变化的 Global Moran's  $I_i$  值由时段 I 的 0.148 上升为时段 III 的 0.157 8,表明其集聚趋势在增强。相反,垦殖系数、建设用地比例的集聚趋势却在减弱。

(3) 垦殖系数的 Local Moran's  $I_i$  正值比率由时段 I 的 76% 下降到时段 III 的 75%,负值的比率上升为 25%,黔桂岩溶山区垦殖系数变化呈现空间上整体集聚,但局部异质性增强的特征;Stdi 大于 0 的比例由时段 I 的 48.35% 增加至时段 III 的 49.45%,从空间格局来说,黔桂岩溶山区垦殖系数变化相对较快的区域在增加;Lagi 值在时段 I 至时段 III 的比例未变,在时间角度方面,黔桂岩溶山区垦殖系数的周围区域变化情况较稳定;黔桂岩溶山区垦殖系数变化的局部特征主要以北部“高一高”集聚和中部黔桂两省交界“低—低”集聚为主,说明在空间分布方面,集聚特征主要是高垦殖系数集聚和低垦殖系数集聚;在时间尺度方面演化的局域分异不显著,垦殖系数的局部变化较稳定。

(4) 建设用地比例的 Local Moran's  $I_i$  正值比率由时段 I 的 91% 下降到时段 III 的 85%,负值的比率上升为 15%,1990—2010 年黔桂岩溶山区建设用地比例变化空间整体集聚特征减弱,局部异质性增强;Stdi 大于 0 的比例由时段 I 的 31.87% 增加至时段 III 的 38.46%,从空间关联度的角度来说,黔桂岩溶山区建设用地比例变化相对较快的区域在增加;Lagi 值比例由时段 I 的 32.97% 增加至时段 III 的 41.76%,在时间角度方面进一步证实了 Stdi 显示的趋势。黔桂岩溶山区在空间分布上,集聚特征主要是高建设用地比例集聚和低建设用地比例集聚;在时间尺度方面演化的局域分异较显著,主要集中在北部、中部和南部。

(5) 土地利用程度综合指数的 Local Moran's  $I_i$  正值比率由时段 I 的 77% 上升到时段 III 的 78%,负值的比率下降为 22%,黔桂岩溶山区土地利用程度综合指数变化呈现空间上整体集聚且缓慢增强;Stdi 大于 0 的比例由时段 I 的 57.14% 增加至时段 III 的 58.24%,从空间关联度的角度来说,黔桂岩溶山区土地利用程度综合指数变化相对较快的区域在有所增加;Lagi 值比例由时段 I 的 38.46% 增加至时段 III 的 50.55%,在时间角度方面进一步证实了 Stdi 反映的趋势;土地利用程度综合指数变化的局部特征主要以南北“高一高”集聚和中

部黔桂两省交界“低—低”集聚为主,在空间分布方面,集聚特征主要是高土地利用程度综合指数集聚和低土地利用程度综合指数集聚;在时间方面演化的局域分异较显著,中部变化小,南北变化较大。

## 4.2 讨论

(1) 土地利用程度综合指数变化集聚趋势在增强,这可能与山区在城镇建设进程中形成以省会城市或重点县市为发展中心的经济增长极有关,因其开发建设力度较强。而垦殖系数的集聚趋势却在减弱,这可能是山区大量农村人口外出务工导致耕地闲置,而各县域间县情不一,土地流转等政策实施各异,各县耕地开垦程度差距拉大造成的。

(2) 垦殖系数变化北部“高一高”集聚和中部黔桂两省交界“低—低”集聚,高垦殖系数的大方县和织金县被周围相邻的垦殖系数高的县域所包围,这是因为该区域人口密度高,需要大量的耕地种植来满足当地粮食需求。低垦殖系数集聚的中部黔桂两省交界处被周围垦殖系数低的县域所包围,该区域是少数民族集聚地,人口较少且经济落后,农村人口更多的是放弃耕地选择外出务工。

(3) 建设用地比例变化南部“高一高”集聚和土地利用程度综合指数变化南北“高一高”集聚,说明经济发展较快的南宁市(武鸣、宾阳、隆安和横县属南宁市)及周边城市和贵阳市(息烽和修文属贵阳市)土地利用开发程度高,形成以南部南宁市、北部贵阳市为中心的省会都市圈。

(4) 垦殖系数、建设用地比例和土地利用程度综合指数变化的“低—低”局部集聚特征主要分布于中部黔桂两省交界,而“高一高”集聚主要分布在黔桂岩溶山区的南北方,在这种“两头高”、“中间低”的土地利用程度模式特征下,山区城镇建设应充分发挥南北“两极”的辐射带动作用,在顺应自然环境的条件下合理开发土地资源、加快省会都市圈建设,引导山区农村人口迁移,促进岩溶石山区的生态环境恢复。

(5) 以南宁市和贵阳市为中心的县域土地开发利用程度较高,而地处喀斯特石山区的黔桂两省交界处土地开发利用程度较低。这一特点是由于区域地势<sup>[14]</sup>、土地利用结构<sup>[6,10]</sup>、人口<sup>[11-13]</sup>等因素影响土地利用所致,反过来,土地利用对区域生态环境<sup>[8]</sup>和生态服务价值<sup>[9]</sup>又具有较大影响。土地利用程度是土地利用变化研究的重要内容,因此,分析垦殖系数、建设用地比例和土地利用程度综合指数变化的总体空间特征和局域空间差异,有利于认识区域土地利用程度和各县域的土地利用情况,更好地为扶贫开发中因地制宜的制定差异化土地利用政策提供参考。

## 参考文献:

- [1] 龙花楼,李秀彬. 区域土地利用转型分析:以长江沿线样带为例[J]. 自然资源学报, 2002, 17(2): 144-149.
- [2] 李秀彬,赵宇鸾. 森林转型、农地边际化与生态恢复[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(10): 91-95.
- [3] 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.
- [4] 苏维词. 滇桂黔石漠化集中连片特困区开发式扶贫的模式与长效机制[J]. 贵州科学, 2012, 30(4): 1-5.
- [5] 蔡运龙. 中国西南喀斯特山区的生态重建与农林牧业发展:研究现状与趋势[J]. 资源科学, 1999, 21(5): 37-41.
- [6] 苏广实. 基于 Gibbs-Mirtin 多样化指数的喀斯特土地利用数量结构分析:以广西都安为例[J]. 广西教育学院学报, 2009(5): 157-160.
- [7] 熊康宁,白利妮,彭贤伟,等. 不同尺度喀斯特地区土地利用变化研究[J]. 中国岩溶, 2005, 24(1): 41-47.
- [8] 胡宝清,严志强,廖赤眉,等. 喀斯特土地利用变化及其区域生态环境效应:以广西都安瑶族自治县为例[C]// 2004 年全国土地资源态势与持续利用学术研讨会, 2004: 66-71.
- [9] 韩会庆,蔡广鹏,张凤太,等. 喀斯特地区土地利用变化对生态服务价值的影响:以贵州省绥阳县为例[J]. 水土保持研究, 2013, 20(2): 272-275.
- [10] 苏广实,王世杰,胡宝清,等. 喀斯特县域土地利用结构信息熵时空变化分析:以广西都安为例[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(26): 12874-12877.
- [11] 李漫,吴良林,周世武,等. 喀斯特山区土地利用变化及其社会驱动力分析:以河池市为例[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(16): 8582-8585.
- [12] 张惠远,赵昕奕,蔡云龙,等. 喀斯特山区土地利用变化的人类驱动机制研究:以贵州省为例[J]. 地理研究, 1999, 18(2): 136-142.
- [13] 秦罗义,白晓永,王世杰,等. 近 40 年来贵州高原典型区土地利用变化及驱动机制[J]. 山地学报, 2015(5): 619-628.
- [14] Zhao Yuluan, Li Xiubin. Spatial Correlation between Type of Mountain Area and Land Use Degree in Guizhou Province, China[J]. Sustainability, 2016, 8(9): 849-857.
- [15] 苏维词. 贵州喀斯特山区生态环境脆弱性及其生态整治[J]. 中国环境科学, 2000, 20(6): 547-551.
- [16] 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.
- [17] Xie Hualin, Kung Chih-Chun, Zhao Yuluan. Spatial disparities of regional forest land change based on ES-DA and GIS at the county level in Beijing-Tianjin-Hebei area[J]. Frontiers of Earth Science, 2012, 6(4): 445-452.
- [18] 王铮,吴静. 计算地理学[M]. 北京:科学出版社, 2011.