

# 鄂西南地区土地利用格局时空变化及轨迹特征分析

左妍<sup>1,2</sup>, 周勇<sup>1,2</sup>, 李晴<sup>1,2</sup>, 王丽<sup>1,2</sup>

(1.华中师范大学地理过程分析与模拟湖北省重点实验室,武汉 430079;

2.华中师范大学城市与环境科学学院,武汉 430079)

**摘要:** 准确识别土地利用格局时空演变规律和轨迹特征,对科学推进该地区生态保护和经济社会高质量发展具有重要意义。采用1990年、2005年和2018年3期土地利用数据构建鄂西南地区土地利用变化轨迹序列,利用土地利用变化各项指数、弦图可视化、标准差椭圆方法,从地类总量变化特征、数量变化轨迹特征和空间变化轨迹特征3个方面开展,揭示近30年来鄂西南地区土地利用格局时空演变特征与变化趋势。结果表明:(1)土地利用总量变化稳定性特征明显。林地和耕地始终是研究区主要土地利用类型,耕地持续减少,建设用地持续增加,土地利用变化活跃但整体态势平缓。(2)土地利用格局数量变化轨迹主导性特征鲜明。1990—2005年以耕地和林地之间相互转换及林地的流出为主,2005—2018年以耕地、林地和草地之间的相互转换、建设用地的进一步扩张为主,整体土地类的变化表现为空间位置上的转移。2005—2018年比1990—2005年土地利用变化类型更多样,土地利用变化行为更活跃。(3)空间变化轨迹集聚性和分异性特征显著。2005—2018年综合土地利用动态变化强度更大。近30年来研究区土地利用格局变化重心、面积、方向和扩散趋势存在空间变化。研究成果为鄂西南地区土地利用研究和国土空间规划提供了参考依据。

**关键词:** 土地利用格局; 时空变化; 轨迹特征分析; 弦图; 标准差椭圆; 鄂西南地区

**中图分类号:** F301.24

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-2242(2022)01-0161-09

**DOI:** 10.13870/j.cnki.stbcxb.2022.01.022

## Analysis of Spatial and Temporal Changes and Trajectory Characteristics of Land Use Pattern in the Southwest Hubei

ZUO Qian<sup>1,2</sup>, ZHOU Yong<sup>1,2</sup>, LI Qing<sup>1,2</sup>, WANG Li<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory for Geographical Process Analysis & Simulation of Hubei Province, Central China Normal University, Wuhan 430079; 2. College of Urban and Environmental Sciences, Central China Normal University, Wuhan 430079)

**Abstract:** Accurate identification of the temporal and spatial evolution law and trajectory characteristics of land use pattern is of great significance to scientifically promote ecological protection and high-quality socio-economic development in the region. Three periods of land use data in 1990, 2005 and 2018 were used to construct the trajectory sequence of land use change in the southwest Hubei. In order to reveal the spatial and temporal evolution characteristics and change trend of land use pattern in the southwest Hubei over the past 30 years, using various indices of land use change, chord diagram visualization and standard deviation ellipse methods, this study carried out from three aspects: total land use change characteristics, quantitative change trajectory characteristics and spatial change trajectory characteristics. The results showed that: (1) Stability characteristic of total land use change was obvious. Forestland and cultivated land were always been the main land use types in the study area. The area of cultivated land decreased continuously, while the area of built-up land increased continuously. The change of land use was active, but the overall trend was flat. (2) The dominant characteristics of the quantitative change trajectory of land use pattern were obvious. From 1990 to 2005, it was dominated by the mutual conversion between cultivated land and forestland and outflow of forestland. From 2005 to 2018, it was dominated by mutual conversion between cultivated land, forestland and grassland and further expansion of built-up land. On the whole, the change of land type was manifested in the transfer of spatial location. Land use change types were more diverse, and land use change behavior was

收稿日期: 2021-06-30

资助项目: 国家自然科学基金项目(41271534, 42171061)

第一作者: 左妍(1993—), 女, 在读博士研究生, 主要从事土壤地理与土地利用研究。E-mail: zuoqcnu@mails.ccnu.edu.cn

通信作者: 周勇(1964—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事土地资源调查与评价、GIS与RS应用、土壤分类与制图研究。E-mail: yzhou@mail.ccnu.edu.cn

more active in 2005—2018 than those in 1990—2005. (3) The spatial change trajectory was characterized by significant clustering and divergence. From 2005 to 2018, the dynamics change intensity of comprehensive land use was greater. There were spatial variations in the center of gravity, area, direction and diffusion trends of land use pattern change in the study area over the past 30 years. The results could provide a reference basis for land use research and territorial spatial planning in the southwest Hubei Province.

**Keywords:** land use pattern; spatial and temporal changes; trajectory characteristic analysis; chord diagram; standard deviational ellipse; the southwest Hubei

土地利用/土地覆盖变化 (land use/cover change, LUCC) 是人类活动作用于生态环境的一种复杂响应<sup>[1]</sup>, 通常被认为是研究地球资源和土地可持续利用的重要生态因子<sup>[2]</sup>。LUCC 不仅对地表能量、水循环、大气环流等方面有重要影响, 还在模拟未来气候、优化空间配置等方面起重要作用<sup>[3-4]</sup>。在力求各种资源可持续优化发展的今天, 集成“空间格局”和“时间过程”双重视角的研究<sup>[5-6]</sup>更有利于把握土地利用方式转变过程及成因。

通过识别 LUCC 的时间序列变化轨迹, 可有效分析在自然环境变化和人类活动干扰下的土地利用趋势<sup>[7]</sup>。随着遥感和 GIS 技术的快速发展和深入应用, 长时期<sup>[8-10]</sup>、多尺度<sup>[11-13]</sup>的 LUCC 监测成为了可能。变化轨迹分析方法作为一种基于图斑或者像元的适合长时序研究的时空复合分析方法, 将变化过程与具体的变化位置相结合, 在保留过程完整性的同时, 定量研究整个区域 LUCC 时空格局动态演变历程<sup>[14]</sup>。刘金雅等<sup>[14]</sup>基于该方法识别京津冀城市群地区 3 种重要生态用地流失的时空动态演变规律。程琳琳等<sup>[15]</sup>以该方法识别宁夏盐池县景观格局的景观组分、构型的演化轨迹。黄勇等<sup>[16]</sup>基于该方法对环渤海地区土地覆盖时空动态进行分析。上述研究揭示了变化轨迹分析方法的适用性, 可科学刻画土地利用显性形态转变<sup>[17]</sup>。

鄂西南地区地处湖北省腹地, 地貌破碎, 区域内石漠化和水土流失现象严重, 滑坡、泥石流等自然灾害时有发生, 生态系统相对脆弱。该区域包括湖北省 2 个重点生态功能区<sup>[18]</sup>, 在生态建设任务中占据重要地位。无论是需要大力发展水电之都美名的“湖北副中心”宜昌市, 还是以民族文化旅游为特色的“鄂西绿色发展示范区”恩施州, 都需要严格保护当地生态环境, 才能推动当地经济高质量发展。近年来, 鄂西南地区研究已引起了众多学者关注, 但多集中于旅游、扶贫或民族文化等方面研究<sup>[19-20]</sup>, 从土地利用格局角度切入研究较少<sup>[21]</sup>。因此, 分析长时序鄂西南地区 LUCC 格局时空变化和变化轨迹, 对该地区生态重点保护和经济有效发展具有重大意义。基于此, 本文将变化轨迹分析方法应用于鄂西南地区土地利用

格局时空变化的研究中, 从地类总量变化特征、数量变化轨迹特征和空间变化轨迹特征 3 个方面开展, 揭示近 30 年来研究区土地利用格局演变特征与变化趋势, 以期为研究区土地资源的可持续开发利用、土地承载力的提高和生态系统的修复提供理论参考<sup>[22]</sup>, 为国土空间规划的合理开展提供科学依据。

## 1 研究区概况与数据来源

### 1.1 研究区概况

鄂西南地区位于湖北省西南腹地 (108°22'00"—112°05'00"E, 29°08'00"—31°35'00"N), 包括宜昌市和恩施土家族苗族自治州, 总面积约 45 338 km<sup>2</sup>, 约占湖北省总面积的 24.39% (图 1)。鄂西南地区地势起伏大, 以高山和中高山为主, 平均海拔在 900 m 以上, 为湖北省平均海拔最高的地区; 受亚热带季风性湿润气候影响, 该区域雨量充沛, 雨热同期, 垂直差异明显; 区域内河流纵横, 河谷深切, 三峡大坝位于该区域宜昌市三斗坪镇境内; 山地自然灾害频发, 水土流失现象较为严重。区域内人均耕地较少, 林地、草地面积分布占比较大, 可投入林业生产的宜林地居湖北省各地市前列, 是湖北省乃至全国重要的生态功能区。

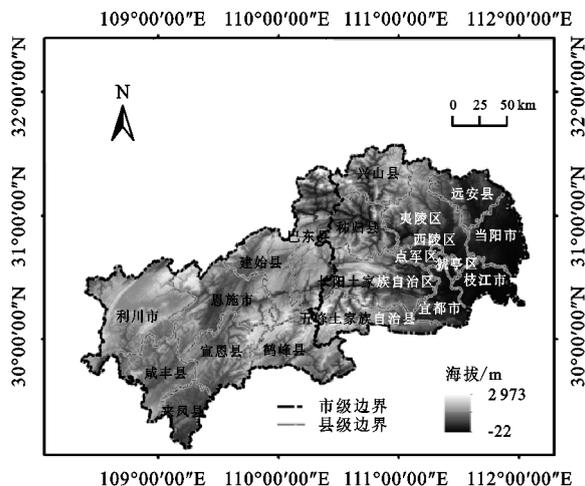


图 1 研究区位置

### 1.2 数据来源与处理

本文将研究时段定为 1990—2018 年, 1990 年、2005 年和 2018 年 3 期土地利用数据 (空间分辨率为 30 m) 均来源于中国科学院资源环境数据中心 (<http://www.resdc.cn/>)。鄂西南地区行政区划 (1 :

100 万) 来源于国家基础地理信息中心 (<https://www.webmap.cn/>)。

利用 ArcGIS 10.2 软件的裁剪工具, 获取研究区土地利用数据。为方便后续变化轨迹分析, 对其进行重分类等处理, 共分为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地 6 大类, 按顺序编码为 1, 2, 3, 4, 5, 6。

## 2 研究方法

### 2.1 变化轨迹分析方法

变化轨迹分析方法是一种可用来分析连续时间序列内某一属性动态变化的动态刻画方法, 该方法可最大程度上保障动态变化的过程完整性<sup>[14]</sup>。在本文中, 利用数字充当轨迹代码来表示在研究时序内不同时间节点的相应栅格对应的土地利用状态, 进一步反映相互转化规律和特征, 若研究区内土地利用类型数量  $< 10$ , 公式(1)为:

$$CT = G_1 \times 10^{n-1} + G_2 \times 10^{n-2} + \dots + G_i \times 10^{n-i} + \dots + G_n \quad (1)$$

式中:  $CT$  为研究时序内各栅格对应的变化轨迹代码, 代表土地利用变化过程;  $G_i$  为第  $i$  个时间节点的土地利用栅格属性;  $n$  为研究的时间节点个数 ( $n > 1$ )。

### 2.2 土地利用格局数量变化轨迹特征

2.2.1 土地利用动态变化度指数 土地利用动态变化度指数反映研究阶段内某种土地利用类型数量变化速率<sup>[23]</sup>, 分为单一和综合土地利用动态变化度指数:

$$LK = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (2)$$

$$LC = \left( \frac{\sum_{a=1}^n \Delta LU_{a-b}}{2 \sum_{a=1}^n LU_a} \right) \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (3)$$

式中:  $LK$  为单一土地利用动态变化度;  $LC$  为综合土地利用动态变化度;  $U_a$ 、 $U_b$  分别为研究区域初期、末期该种土地利用类型面积 ( $\text{km}^2$ );  $T$  为研究的间隔时间段;  $LU_a$  为第  $a$  种土地利用类型在研究初期的面积 ( $\text{km}^2$ );  $\Delta LU_{a-b}$  为研究初期第  $a$  种土地利用类型转变为其他土地利用类型的面积总和的绝对值 ( $\text{km}^2$ );  $n$  为研究区域中土地利用类型的个数。

2.2.2 绝对净变化量、交换变化量、总变化量指数 土地利用类型的绝对净变化量 ( $N_a$ ) 指研究时期内各土地利用类型数量上的绝对变化量百分比, 计算公式为:

$$N_a = |P_{+a} - P_{a+}| \quad (4)$$

式中:  $P_{a+}$  为研究初期第  $a$  类土地利用类型面积百分比 (%);  $P_{+a}$  为研究末期第  $a$  类土地利用类型面积百分比 (%)。

土地利用类型变化量仅从数值上统计并不能完全反映其转型特征, 例如, 变化量为 0 这一信息并不能表示该类型没有发生变化, 还有可能是空间上发生

变化<sup>[6]</sup>。因此, 该类隐含信息需要另一个指数来解释。交换变化量 ( $S_a$ ) 指研究时期内区域不同土地利用类型相互转化量的百分比总和, 它可定量表示某一地类在一处转变为其他地类, 在另一处其他地类又转变为该地类, 计算公式为:

$$S_a = 2 \times \text{MIN}(P_{a+} - P_{aa}, P_{+a} - P_{aa}) \quad (5)$$

式中:  $P_{aa}$  为研究期内第  $a$  类土地利用类型保持不变的面积百分比 (%)。

因此, 各土地利用类型的绝对净变化量和交换变换量相加即可得到土地利用的总变化量 ( $C_a$ ), 计算公式为:

$$C_a = N_a + S_a \quad (6)$$

2.2.3 土地利用转移比率指数 土地利用转移比率 ( $V_{ab}$ ) 为研究时期内某种土地利用类型转化时的转移信息, 即发生变换的某种土地利用类型面积占所有发生变换的土地利用总面积的比率, 计算公式为:

$$V_{ab} = \frac{P_{ab}}{\sum_{a=1}^n \sum_{b=1}^n P_{ab}} \times 100\% (a \neq b) \quad (7)$$

式中:  $P_{ab}$  为第  $a$  种土地利用类型转变为第  $b$  种土地利用类型的面积 ( $\text{km}^2$ );  $a$ 、 $b$  为研究初期和末期的土地利用类型。

2.2.4 弦图 (chord diagram) 可视化 弦图是表达大量数据之间相互变化的数量和转向的重要数据可视化方法, 已在生物信息学领域得到广泛应用<sup>[7,9]</sup>。本文使用 R 4.1.0 软件中“circlize”程序包进行弦图绘制, 描述鄂西南地区土地利用格局空间变化轨迹流量、流向及多样性特征<sup>[7]</sup>。

### 2.3 土地利用格局空间变化轨迹分布特征

2.3.1 综合土地利用动态变化空间差异 为研究综合土地利用动态变化的空间差异, 将研究区网格化, 划分大小为  $5 \text{ km} \times 5 \text{ km}$  (周边部分网格进行合并) 共计 2 003 个网格, 利用 ArcGIS 10.2 计算 1990—2005 年, 2005—2018 年 2 个阶段每个网格的综合土地利用动态变化度, 最后使用克里金插值方法进行插值。

2.3.2 标准差椭圆方法 标准差椭圆空间统计方法可多角度衡量地理要素空间分布全局特征, 包括集中、离散趋势及方向分布, 同时, 可定量解释其中心性、方向性和扩展方向偏差等信息<sup>[24]</sup>。本文通过标准差椭圆方法探索近 30 年来鄂西南地区土地利用格局变化的空间演变趋势及重心变化方向和离散趋势。标准差椭圆的核心参数主要有中心、方位角和长短半轴 (公式(8)、公式(9)和公式(10))<sup>[24-26]</sup>。

$$\text{SDE}_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n}}, \text{SDE}_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2}{n}} \quad (8)$$

$$\tan \theta = \frac{(\sum_{i=1}^n \tilde{x}_i^2 - \sum_{i=1}^n \tilde{y}_i^2) + \sqrt{(\sum_{i=1}^n \tilde{x}_i^2 - \sum_{i=1}^n \tilde{y}_i^2)^2 + 4(\sum_{i=1}^n \tilde{x}_i \tilde{y}_i)^2}}{2 \sum_{i=1}^n \tilde{x}_i \tilde{y}_i} \quad (9)$$

$$\sigma_x = \sqrt{2} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\tilde{x}_i \cos \theta - \tilde{y}_i \sin \theta)^2}{n}}$$

$$\sigma_y = \sqrt{2} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\tilde{x}_i \sin \theta + \tilde{y}_i \cos \theta)^2}{n}} \quad (10)$$

式中:  $SDE_x$  和  $SDE_y$  分别为标准差椭圆中心的坐标;  $x_i$  和  $y_i$  分别为地理要素的空间位置坐标;  $\bar{X}$  和  $\bar{Y}$  分别为地理要素的算数平均中心;  $n$  为地理要素个数;  $\theta$  为椭圆方位角, 即椭圆  $x$  轴与正北方向夹角( $^\circ$ );  $\tilde{x}_i$  和  $\tilde{y}_i$  分别为平均中心偏差;  $\sigma_x$  和  $\sigma_y$  分别为  $x$  和  $y$  轴标准差。

### 3 结果与分析

#### 3.1 鄂西南地区土地利用总量变化特征

由鄂西南地区 1990 年、2005 年、2018 年土地利用变化统计数据(表 1、图 2、图 3)可知, 土地利用总量变化稳定性特征明显, 林地和耕地始终是研究区主

表 1 1990—2018 年鄂西南地区土地利用变化

| 土地利用类型 | 1990 年             |         | 2005 年             |         | 2018 年             |         | 土地利用动态变化度/% |             |             |
|--------|--------------------|---------|--------------------|---------|--------------------|---------|-------------|-------------|-------------|
|        | 面积/km <sup>2</sup> | 比例/%    | 面积/km <sup>2</sup> | 比例/%    | 面积/km <sup>2</sup> | 比例/%    | 1990—2005 年 | 2005—2018 年 | 1990—2018 年 |
| 耕地     | 7336.587           | 16.207  | 7303.730           | 16.135  | 6971.423           | 15.404  | -0.030      | -0.350      | -0.178      |
| 林地     | 33915.062          | 74.923  | 33749.314          | 74.555  | 33686.106          | 74.432  | -0.033      | -0.014      | -0.024      |
| 草地     | 3112.158           | 6.875   | 3125.605           | 6.905   | 3063.515           | 6.769   | 0.029       | -0.153      | -0.056      |
| 水域     | 578.230            | 1.277   | 675.118            | 1.491   | 768.964            | 1.699   | 1.117       | 1.069       | 1.178       |
| 建设用地   | 323.376            | 0.714   | 412.798            | 0.912   | 766.372            | 1.693   | 1.843       | 6.589       | 4.892       |
| 未利用地   | 1.208              | 0.003   | 0.831              | 0.002   | 1.058              | 0.002   | -2.094      | 2.132       | -0.443      |
| 统计     | 45266.621          | 100.000 | 45267.395          | 100.000 | 45257.437          | 100.000 | 0.029       | 0.077       | 0.050       |

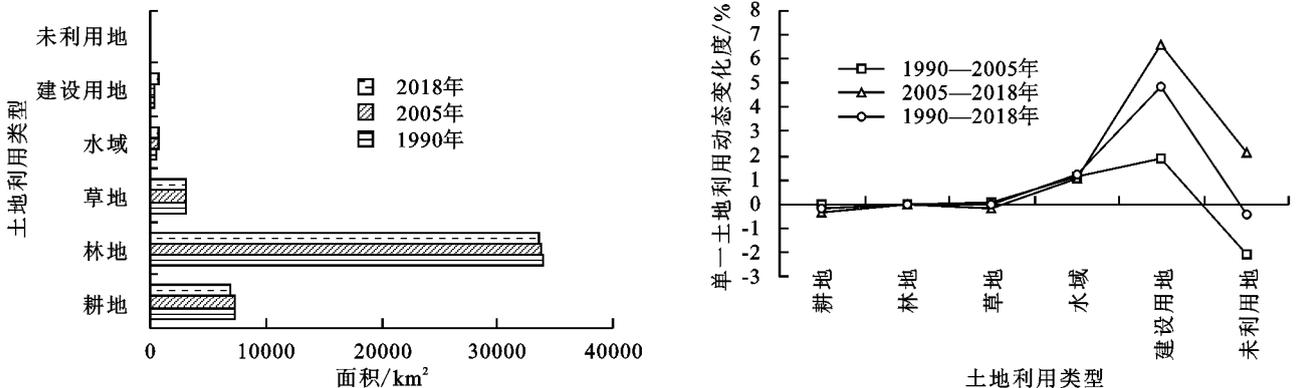


图 2 1990—2018 年鄂西南地区各地类面积及单一土地利用动态变化度变化

#### 3.2 鄂西南地区土地利用格局数量变化轨迹特征分析

3.2.1 土地利用变化指数分析 运用 ArcGIS 10.2 软件对 1990 年—2005 年鄂西南地区土地利用栅格数据进行处理, 得到 35 种变化轨迹代码, 具有实质变化性的代码共有 29 种(共 729.00 km<sup>2</sup>)。按面积大

要用地类型, 林地占比最大, 该数据符合研究区域作为湖北省重点生态功能区的特征<sup>[18,21]</sup>。

动态度可定量描述区域内土地利用变化速度和剧烈程度<sup>[8]</sup>。耕地面积呈现持续减少态势, 后一阶段(2005—2018 年)下降速率明显加快(-0.03%~-0.35%)。林地面积一直占据主导优势, 但下降速率逐渐变缓(-0.03%~-0.01%)。草地面积前一阶段相对稳定, 后一阶段则有小幅减少, 这与推行的退耕还草政策以及草地开发有关<sup>[23]</sup>。水域面积持续增加但占比颇小, 上升速率先高后低(1.12%~1.07%)。建设用地面积大幅增加, 是所有土地类型中上升速率最大且最明显的(1.84%~6.59%), 这是经济发展和城镇化建设的共同需求<sup>[27]</sup>。未利用地因面积总量较小, 较小面积的起伏变动即使其土地利用动态度在数值上发生了较大变化(-2.09%~2.13%)。

2005—2018 年综合土地利用动态变化度(0.08%)远大于 1990—2005 年(0.03%), 前者是后者的 2.67 倍, 后一阶段变化速率加快, 说明其土地利用变化力度加大, 但整体态势平缓。研究区整个阶段的综合土地利用动态变化度为 0.05%, 表明土地利用变化一定程度上受到了人类干扰。

小对此类代码进行排序, 前 8 种累计转移比率已达 90.46%(表 2), 可代表研究区在该阶段内土地利用变化主要轨迹类型。面积占比较大的是林地(代码 21, 转移比率 28.70%)与耕地(代码 12, 转移比率 22.27%)的互相转换; 其次为林地向水域(代码 24, 转

移比率 9.57%)和草地(代码 23,转移比率 6.47%)的转化。结合表 3 可知,耕地、林地的交换变化量均大于其绝对净变化量,佐证两者的变化属于空间位置上的变化。草地同表现为空间位置上的变化(交换变化量大于绝对净变化量),而建设用地则表现为数量上的增加(绝对净变化量大于交换变化量)。该阶

段研究区的土地利用数量变化轨迹特征表现为耕地和林地之间相互转换及林地的流出。林地转出主要流向耕地、水域和草地,累计转出比例达 38.31%。同时也有部分耕地和草地转为林地,累计转入比例为 33.37%。耕地和林地对建设用地的转入在所有转化中也较为明显。

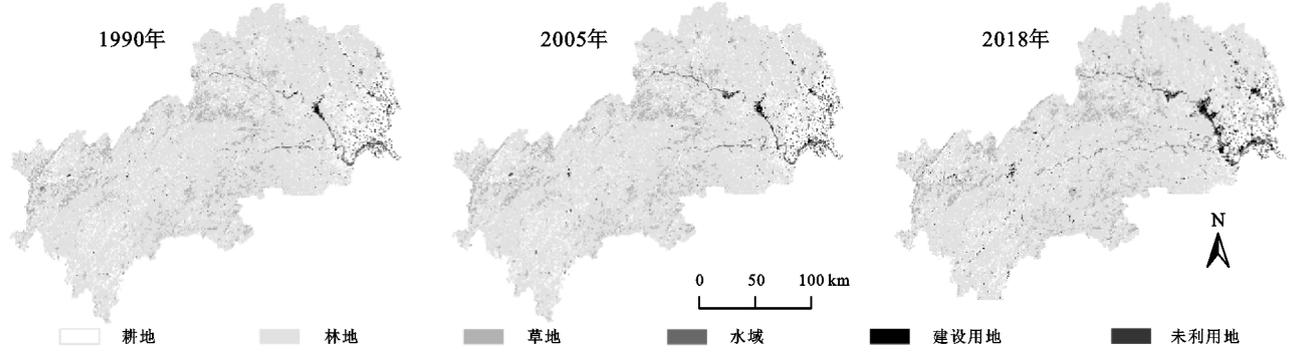


图 3 1990 年、2005 年和 2018 年鄂西南地区土地利用现状

表 2 1990—2005 年鄂西南地区土地利用变化主要轨迹代码面积比例统计

| 变化轨迹代码 | 土地利用变化类型 | 面积/km <sup>2</sup> | 转移比率/% | 累计转移比率/% |
|--------|----------|--------------------|--------|----------|
| 21     | 林地→耕地    | 209.21             | 28.70  | 28.70    |
| 12     | 耕地→林地    | 162.34             | 22.27  | 50.97    |
| 24     | 林地→水域    | 69.74              | 9.57   | 60.53    |
| 23     | 林地→草地    | 47.18              | 6.47   | 67.01    |
| 15     | 耕地→建设用地  | 47.00              | 6.45   | 73.45    |
| 14     | 耕地→水域    | 46.43              | 6.37   | 79.82    |
| 25     | 林地→建设用地  | 43.49              | 5.97   | 85.79    |
| 32     | 草地→林地    | 34.03              | 4.67   | 90.46    |

表 3 1990—2018 年鄂西南地区土地利用总变化量、交换变化量和绝对净变化量

| 研究阶段      | 土地利用类型 | 总变化量/% | 交换变化量/% | 绝对净变化量/% |
|-----------|--------|--------|---------|----------|
| 1990—2005 | 耕地     | 1.145  | 1.072   | 0.073    |
|           | 林地     | 1.266  | 0.898   | 0.368    |
|           | 草地     | 0.268  | 0.238   | 0.030    |
|           | 水域     | 0.319  | 0.105   | 0.214    |
|           | 建设用地   | 0.222  | 0.024   | 0.198    |
|           | 未利用地   | 0.002  | 0.001   | 0.001    |
| 2005—2018 | 耕地     | 6.568  | 5.835   | 0.733    |
|           | 林地     | 7.663  | 7.540   | 0.124    |
|           | 草地     | 1.935  | 1.802   | 0.133    |
|           | 水域     | 0.661  | 0.453   | 0.208    |
|           | 建设用地   | 1.114  | 0.333   | 0.781    |
|           | 未利用地   | 0.003  | 0.003   | 0.001    |

2005—2018 年鄂西南地区共有 35 种变化轨迹代码,具有实质变化性的代码共有 29 种,面积为 4 060.69 km<sup>2</sup>,比上一阶段增加 3 331.69 km<sup>2</sup>。按面积大小进行排序后发现前 8 种代码累计转移比率达 91.85% (表 4)。本阶段土地利用变化以耕地(代码 12,转移

比率 31.44%)和林地(代码 21,转移比率 28.01%)之间的相互转换为主;其次为草地(代码 32,转移比率 8.91%)和林地(代码 23,转移比率 7.20%)之间的相互转化。结合表 3 可知,耕地、林地和草地的交换变化量均大于其绝对净变化量,且三者的总变化量较上一阶段均大幅增加,说明变化更为剧烈且主要是空间位置上的变化。耕地、林地对建设用地的流入也成为建设用地面积增多的主要途径,建设用地仍表现为数量上的变化(绝对净变化量大于交换变化量)。该阶段研究区的土地利用数量变化轨迹特征表现为耕地、林地和草地之间的相互转换、建设用地的进一步扩张。耕地转出方向主要为林地和建设用地,累计转出比例为 36.77%,与上一阶段相比转出面积大幅增加。而林地主要转出方向为耕地、草地和建设用地,累计转出比例达 39.90%。

表 4 2005—2018 年鄂西南地区土地利用变化主要轨迹代码面积比例统计

| 变化轨迹代码 | 土地利用变化类型 | 面积/km <sup>2</sup> | 转移比率/% | 累计转移比率/% |
|--------|----------|--------------------|--------|----------|
| 12     | 耕地→林地    | 1276.58            | 31.44  | 31.44    |
| 21     | 林地→耕地    | 1137.51            | 28.01  | 59.45    |
| 32     | 草地→林地    | 361.98             | 8.91   | 68.36    |
| 23     | 林地→草地    | 292.54             | 7.20   | 75.57    |
| 15     | 耕地→建设用地  | 216.58             | 5.33   | 80.90    |
| 25     | 林地→建设用地  | 190.49             | 4.69   | 85.59    |
| 24     | 林地→水域    | 140.96             | 3.47   | 89.06    |
| 13     | 耕地→草地    | 113.28             | 2.79   | 91.85    |

综合来看(表 5),1990—2018 年鄂西南地区土地利用数量变化轨迹主要表现为耕地的流失以及林地、草地、水域 3 种重要生态用地的相互转换。耕地流失对应的轨迹代码中,面积占比较大的是代码 112 (耕地→耕地→林地)和 115(耕地→耕地→建设用地),分别代表耕地在 2005 年之后开始转为林地和

建设用,分别占前 14 种主要轨迹代码总面积的 25.96%,4.69%。鄂西南地区因地势原因水土流失现象较为严重,因此,湖北省政府于 2002 年全面启动退耕还林工程<sup>[28]</sup>并重点实施水土保持工程。特别是在石漠化发育较为集中的利川市、巴东县和恩施市等地区,当地政府还积极推动天然林保护、封山育林、生态公益林建设等措施<sup>[18]</sup>,加大生态保护力度,促进自然生态恢复。此外,因研究区经济发展、城镇化进程加快、人口大量增加,较多耕地被非农建设用地占用,致使耕地面积下降明显。林地流失对应的轨迹代码中除了 225 代表一部分草地于 2018 年转为了建设用地之外(面积占比 4.14%),其余大部分林地表现为与生态用地还有耕地的转换。

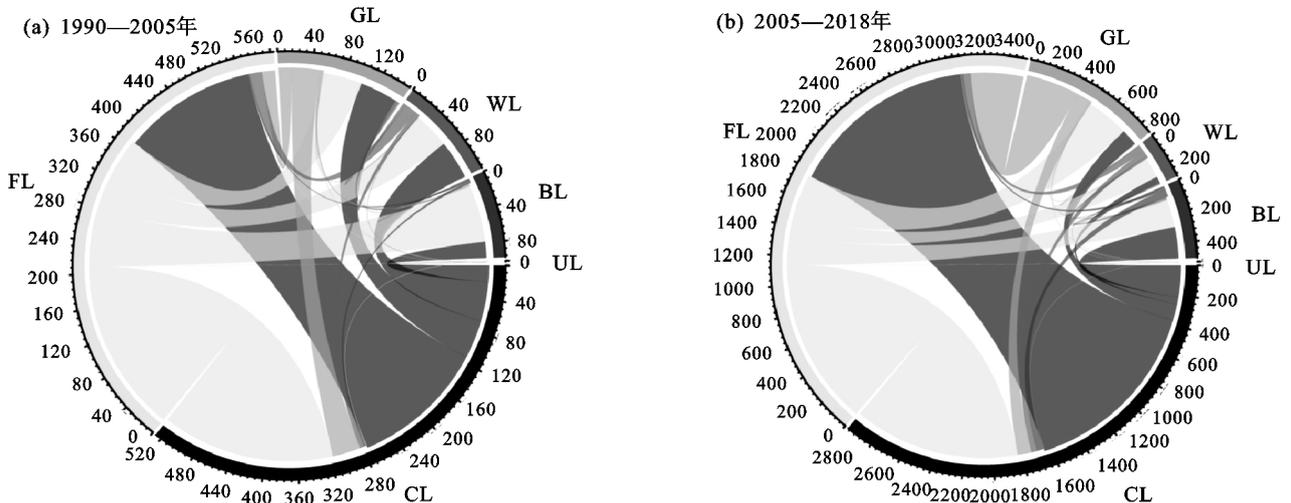
总体而言,近 30 年来研究区建设用地、水域对外界干扰和环境变化表现出较强敏感性;研究区长期以来为保持生态功能稳定,一直致力于发展适宜林草植被恢复和优势特色林业;与 1990—2005 年相比,2005—2018 年土地利用格局变化更为剧烈。

3.2.2 数量转移轨迹特征分析 由图 4 可知,1990—2005 年耕地、林地向其他地类转化较为明显,两者的转化量均较大。草地的转入转出则较为均衡,建设用地有明显转化但转化量不大。从转移线上来

看,该研究阶段内土地利用类型之间的相互转化行为较为活跃,尤其是耕地和林地。2005—2018 年各地类之间转化量明显增大,外圈尺度的扩大表示各地类转为水域、建设用地的面积均显著增加,转出方向与上一阶段相似,但轨迹线变得更稠密,表明该阶段土地利用变化类型更多样,土地利用变化行为更活跃。

表 5 1990—2018 年鄂西南地区土地利用变化主要轨迹代码面积比例统计

| 变化轨迹代码 | 面积/<br>km <sup>2</sup> | 转移<br>比率/% | 累计转移<br>比率/% |
|--------|------------------------|------------|--------------|
| 112    | 1175.36                | 25.96      | 25.96        |
| 221    | 1083.33                | 23.93      | 49.89        |
| 332    | 338.91                 | 7.49       | 57.37        |
| 223    | 276.59                 | 6.11       | 63.48        |
| 115    | 212.21                 | 4.69       | 68.17        |
| 225    | 187.64                 | 4.14       | 72.31        |
| 224    | 138.85                 | 3.07       | 75.38        |
| 211    | 109.66                 | 2.42       | 77.80        |
| 122    | 104.21                 | 2.30       | 80.10        |
| 113    | 104.09                 | 2.30       | 82.40        |
| 212    | 94.00                  | 2.08       | 84.48        |
| 331    | 90.30                  | 1.99       | 86.47        |
| 244    | 57.60                  | 1.27       | 87.74        |
| 121    | 53.43                  | 1.18       | 88.92        |



注:CL、FL、GL、WL、BL、UL 分别为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地;弦图数据仅统计发生变化的变化轨迹代码面积;外圈地带为地类发生变化的整体情况;里圈纽带为地类之间的转化方向和面积大小;不同灰度转移线为研究阶段内某一地类流向;转移线粗细为转化量大小,越粗说明转移面积越大。

图 4 1990—2018 年鄂西南地区土地利用变化弦图

### 3.3 鄂西南地区土地利用格局空间变化轨迹分布特征分析

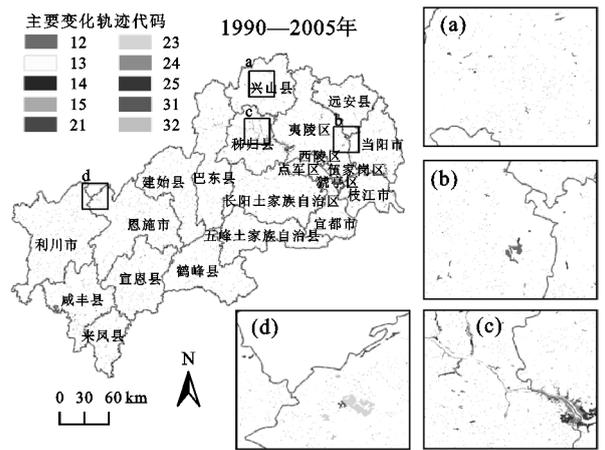
3.3.1 空间变化轨迹分布特征分析 综合图 5、图 6、表 2、表 4 可知,1990—2005 年,林地转耕地(代码 21,图 5a)所对应的空间变化轨迹广泛分布于全区域,大部分林地被作为适合补充源地而开垦为耕地,以保证各地区粮食的充足供应。耕地转林地(代码 12,图 5b)在区域内呈细碎分布,较为明显的块状集中分布于夷陵区东南部和

当阳县东部。林地转水域(代码 24,图 5c)呈横向分布于巴东县、秭归县,竖向分布于长阳土家族自治县和宜都市交界处,原因主要为:一是宜昌市当地三峡水利枢纽工程于 1994 年开始动工兴建,此过程中出现了库区蓄水致使众多陆域被淹没及占用其他地类修建工程基础设施等现象<sup>[22]</sup>;二是这些地区根据自身地理条件优势,将部分林地转化为水域,而增加的水域多数为鱼塘,市场和百姓对鱼类产品的需求以及养鱼带来的良好收益促

使林地转化为水域<sup>[23]</sup>。林地转草地(代码 23,图 5d)主要分布于恩施市西北部、西南部,该部分变化属于生态用地之间的互转。2005—2018 年,面积占比最大的耕地转林地(代码 12,图 6a)分散分布于全研究区,明显集中分布于兴山县、鹤峰县。随着湖北省 2002 年之后全面推广的生态退耕、退耕还林等工程的实施<sup>[28]</sup>,研究区内耕地大幅度转为林地,达到地区保土保肥、涵养水源的目的。当地政府也基于优良的林地资源积极引导农民种植茶树等经济作物,发展高效经济林,改善农民生计。林地转耕地(代码 21,图 6b)则不均匀分布于全研究区,集中分布于夷陵区东南部、长阳土族自治县西南部,恩施州多于宜昌市。湖北省 2004 年后推行的粮食直补政策和粮食价格的上升也让一些地区开始重新开垦耕地<sup>[23]</sup>。而草地与林地的互换(代码 32,图 6c;代码 23,图 6d)则呈现“中间密,两头疏”分布。耕地、林地转为建设用地(代码 15 和代码 25)这些转化主要发生在经济相对发达的各县市城区周边区域,在社会经济发展的需求推动下,建设用地的扩张明显加快。

3.3.2 综合土地利用动态变化分析 利用 ArcGIS 10.2 软件绘制 1990—2018 年研究区综合土地利用动态变化度的空间分布图(图 7)。2 个阶段综合土地利用动态变化同样具有明显的集聚性。1990—2005 年(图 7a)综合土地利用动态变化较大的地区位于研究区东北部,呈明显条带分布,中部则变化较小。而 2005—2018 年(图 7b)变化较大的地区大致分布在研究区的东北部、中部和南部,动态变化幅度和空间差异较上一阶段大,呈多点发展趋势,说明该阶段开发

强度较大且全区域都在开发。



注:各选择 4 个代表性区域进行细节展示,以字母 a、b、c 和 d 代表所指区域。下同。

图 5 1990—2005 年鄂西南地区土地利用变化主要轨迹代码空间分布

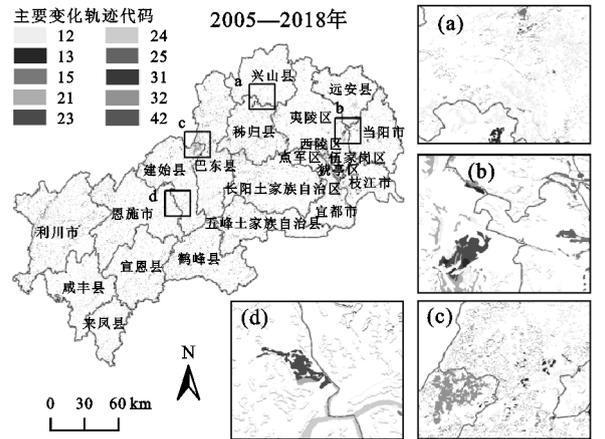


图 6 2005—2018 年鄂西南地区土地利用变化主要轨迹代码空间分布

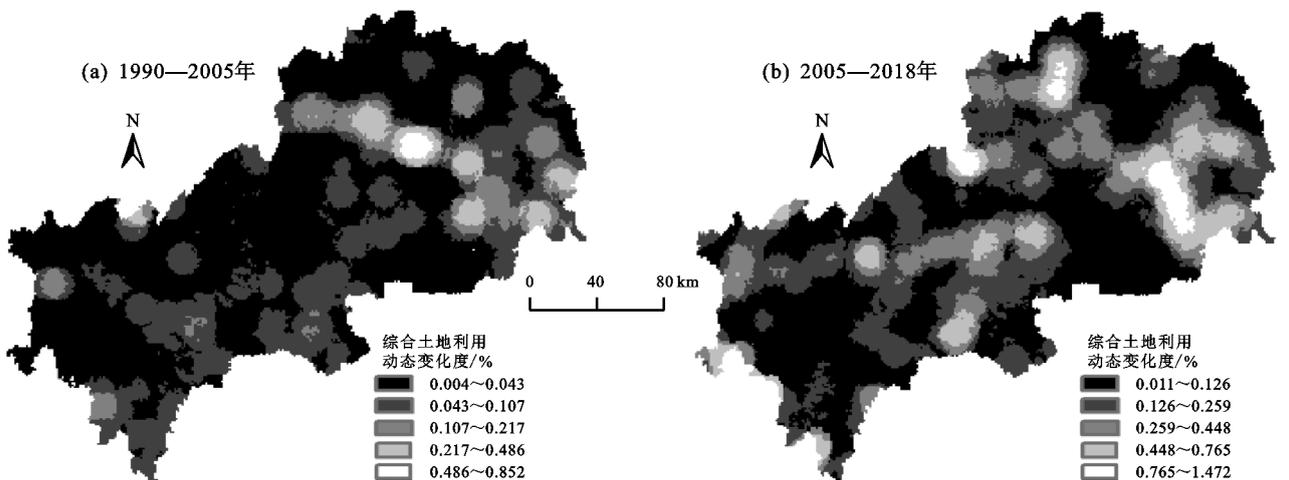


图 7 1990—2018 年鄂西南地区综合土地利用动态变化度空间分布

3.3.3 土地利用空间变化方向特征分析 本文提取 2 个研究时段内发生变化的地类,利用 ArcGIS 10.2 空间统计工具下的度量地理分布功能得到 2 期标准差椭圆分布及变化重心(图 8、表 6),解释研究区土地利用变化的重心、空间形态、延展性和方向性。

从变化重心移动轨迹来看(图 8),在 1990—2018 年期间,研究区变化重心整体逐渐向西移动,2005—2018 年重心已由宜昌市(长阳土族自治县)偏移至恩施州(巴东县)境内。后一阶段由于 2009 年湖北省开始实施“鄂西生态文化旅游圈”发展战略<sup>[29]</sup>和自 2013 年以来恩

施州举全州之力开始深度攻克贫困堡垒<sup>[30]</sup>等举措,恩施州区域经济实力开始不断加速增强,城市逐渐发育。受发展政策影响,土地利用变化频繁且开发强度加大,因此,变化重心逐渐移动至恩施州。

从土地利用变化标准差椭圆参数来看(表 6),1990—2005 年标准差椭圆的面积小于 2005—2018 年的面积,证明后一阶段的土地利用变化较前一阶段分散但覆盖范围更大。标准差椭圆的长半轴由 137.81 km 减少至 136.94 km,而短半轴则由 55.13 km 增加至 56.02 km。根据长、短半轴的变化,可发现研究区土地利用变化空间在东西方向逐渐收缩,在南北方向略微延伸。椭圆的方位角始终在  $64^{\circ}\sim 66^{\circ}$ ,即方向稳定呈东北—西南方向。总而言之,研究区近 30 年来的土地利用格局变化空间离散程度趋于扩大,在主方向上呈现出收缩态势,方向稳定呈东北—西南方向。

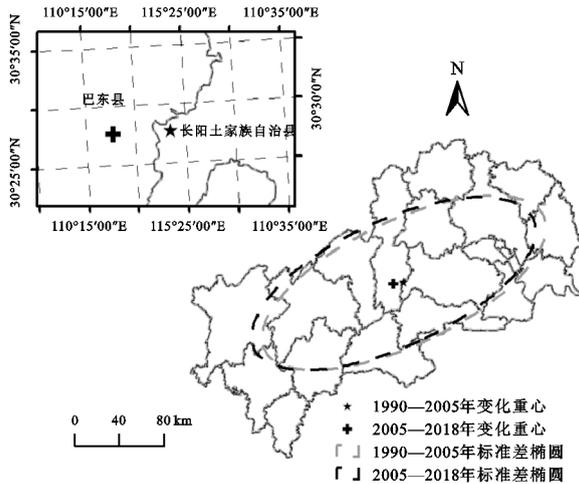


图 8 1990—2018 年土地利用变化重心及标准差椭圆分布

表 6 1990—2018 年鄂西南地区土地利用变化标准差椭圆参数

| 标准差椭圆参数              | 1990—2005 年          | 2005—2018 年          |
|----------------------|----------------------|----------------------|
| 椭圆 $x$ 轴长度/km        | 55.13                | 56.02                |
| 椭圆 $y$ 轴长度/km        | 137.81               | 136.94               |
| 椭圆面积/km <sup>2</sup> | 23866.40             | 24092.11             |
| 中心点 $x$ 坐标           | $110^{\circ}23'33''$ | $110^{\circ}17'45''$ |
| 中心点 $y$ 坐标           | $30^{\circ}27'44''$  | $30^{\circ}27'39''$  |
| 方位角/ $^{\circ}$      | 64.40                | 65.11                |

## 4 讨论

本文采用变化轨迹分析等方法 and 各项指数对鄂西南地区 1990—2018 年土地利用格局时空演变特征与变化趋势进行分析,结果表明,土地利用方式和格局的变化大致上是区域自然环境和人文经济因素共同作用的结果<sup>[7]</sup>,这与田培等<sup>[22]</sup>和张韵等<sup>[23]</sup>得出的结论相似,具体表现为:

(1)退耕还林还草、封山育林、生态公益林建设等工程的实施带来了生态林、高质量林地和草地。这些

生态用地在推进研究区生态建设、提升水土涵养功能、减少水土流失面积以及降低滑坡等自然灾害发生频率等方面起到了显著作用。

(2)三峡水利枢纽工程的兴建(1994 年)、全线建成(2006 年)以及后续的移民安置,对研究区宜昌市内土地利用类型的转变影响深刻<sup>[22]</sup>。三峡工程的兴建与完成以及后续移民安置和企业工厂等异地迁建导致周边耕地、林地等陆地面积减少,水域面积明显增加,基础设施用地即建设用地也随之增加。

(3)社会经济的快速发展,与之配套的基础设施需更新并增加。无论是需要大力发展水电之都美名的“湖北副中心”宜昌市,还是民族文化旅游为特色的“鄂西绿色发展示范区”恩施州,区域经济都处于高速发展期,城镇建设、旅游开发建设等基础设施用地占用其他类型用地是不可避免的<sup>[26]</sup>。

此外,本文尚存在一些不足,例如,未深层次阐述土地利用变化的驱动力机制、未对未来变化趋势进行预测等,这将是研究以后进一步探索的方向。

## 5 结论与建议

### 5.1 结论

(1)鄂西南地区土地利用总量变化稳定性特征明显。1990—2018 年林地和耕地始终是研究区主要土地利用类型。土地利用变化活跃但整体态势平缓,现阶段对建设用地仍有较大刚性需求。

(2)土地利用格局数量变化轨迹主导性特征鲜明。1990—2005 年以耕地和林地之间相互转换及林地的流出为主;2005—2018 年以耕地、林地和草地之间的相互转换、建设用地的进一步扩张为主,该阶段土地利用变化类型更多样,土地利用变化行为更活跃。整体上地类的变化表现为空间位置上的转移。

(3)土地利用格局空间变化轨迹集聚性和分异性特征显著。2005—2018 年综合土地利用动态变化强度更大且范围更广。近 30 年来研究区土地利用格局变化重心受发展政策影响整体向西偏移,空间离散程度趋于扩大,方向稳定呈东北—西南方向,在主方向上呈收缩态势。

(4)鄂西南地区近 30 年来土地利用格局变化是区域自然环境和人文经济因素共同作用的结果。自然环境因素是土地利用格局发生变化的基础和支撑,人文经济因素则影响了地类变化的方向与速度。

### 5.2 建议

基于处于经济高速发展期的鄂西南地区现状和研究结果,尝试提出区域生产实践的针对性建议:

(1)对于恩施州的生态脆弱山区,须严格执行管控文件,实行严格生态保护,维持林地和草地的天然生态屏障作用。州内应整合现有自然、人文等资源,

充分发挥自身区域优势,因地制宜发展民族特色旅游业,合理进行旅游基础设施开发,生态环境保护和经济健康发展工作两手抓。

(2)依托江汉平原的地域优势,强化枝江市、当阳市在宜昌市中的粮食安全保障地位,重点打造并积极开展有关水稻种植的智慧农业,加强对优质耕地的保护力度,抓好优质粮,真正提质提效。

(3)对于三峡水库坝区,应维持目前当地较高植被覆盖率,认真考虑生态资源支撑能力,严控经济建设用地对于其他地类的占用,有效提升现有基础设施利用率。

#### 参考文献:

- [1] Akodéwou A, Oszwald J, Saïdi S, et al. Land use and land cover dynamics analysis of the togodo protected area and its surroundings in Southeastern Togo, West Africa[J].Sustainability,2020,12(13):5439-5459.
- [2] Wang Q, Yan M, Liu J, et al. Impacts of land use/cover change on spatial patterns of summer precipitation at decadal scale over eastern China[J].International Journal of Climatology,2021,41(3):1939-1951.
- [3] Zhao J J, Dong Y Y, Zhang M M, et al. Comparison of identifying land cover tempo-spatial changes using GlobCover and MCD12Q1 global land cover products[J].Arabian Journal of Geosciences,2020,13(16):1-12.
- [4] Akbar T A, Hassan Q K, Ishaq S, et al. Investigative spatial distribution and modelling of existing and future urban land changes and its impact on urbanization and economy[J].Remote Sensing,2019,11(2):105-120.
- [5] 唐常春,李亚平.多中心城市群土地利用/覆被变化地学信息图谱研究:以长株潭城市群为例[J].地理研究,2020,39(11):2626-2641.
- [6] 王福红,赵锐锋,张丽华,等.黑河中游土地利用转型过程及其对区域生态质量的影响[J].应用生态学报,2017,28(12):4057-4066.
- [7] 肖东洋,牛海鹏,闫弘轩,等.1990—2018年黄河流域(河南段)土地利用格局时空演变[J].农业工程学报,2020,36(15):271-281.
- [8] 黄方,张学敏.白山市土地利用/覆被变化轨迹分析与趋势预测[J].应用基础与工程科学学报,2015,23(3):439-451.
- [9] 鲁亚楠,姚顺波,邓元杰,等.陕北地区土地利用及景观格局变化对生态服务价值的影响:基于退耕还林(草)背景[J].中国农业资源与区划,2019,40(11):180-192.
- [10] 杨爱民,朱磊,陈署晃,等.1975—2015年玛纳斯河流域土地利用变化的地学信息图谱分析[J].应用生态学报,2019,30(11):3863-3874.
- [11] Hu Q, Xiang M T, Chen D, et al. Global cropland intensification surpassed expansion between 2000 and 2010: A spatio-temporal analysis based on GlobeLand30[J].Science of the Total Environment,2020,746:141035-141046.
- [12] 刘纪远,宁佳,匡文慧,等.2010—2015年中国土地利用变化的时空格局与新特征[J].地理学报,2018,73(5):789-802.
- [13] 于元赫,李子君,林锦阔,等.沂河流域土地利用时空变化图谱特征分析[J].自然资源学报,2019,34(5):975-988.
- [14] 刘金雅,汪东川,孙然好,等.基于变化轨迹分析方法的生态用地流失空间关联研究[J].地理研究,2020,39(1):103-114.
- [15] 程琳琳,刘华,刘焱序.半干旱区县域景观格局变化轨迹识别:以宁夏盐池县为例[J].自然资源学报,2019,34(5):1066-1078.
- [16] 黄勇,王凤友,蔡体久,等.环渤海地区景观格局动态变化轨迹分析[J].水土保持学报,2015,29(2):314-319.
- [17] 张文慧,吕晓,史洋洋,等.黄河流域土地利用转型图谱特征[J].中国土地科学,2020,34(8):80-88.
- [18] 陈玮,胡静,王圣先.浅述湖北省重点生态功能区林业生态建设重点[J].湖北林业科技,2017,46(5):59-61.
- [19] 邓念梅,詹丽,黄进.鄂西南民族地区民宿旅游发展现状、风险及对策探讨[J].资源开发与市场,2014,30(7):880-882.
- [20] 杨春娥,赵君.少数民族特色村寨振兴的实践困境及路径探索:基于鄂西南民族地区的考察[J].民族学刊,2020,11(6):17-28,152-154.
- [21] 陈斌,王宏志,李仁东.鄂西南山地土地利用时空格局的梯度效应研究[J].湖北大学学报(自然科学版),2019,41(2):109-117.
- [22] 田培,龚雨薇,朱占亮,等.三峡水库坝区生态屏障区近25年土地利用变化评价[J].水土保持学报,2020,34(2):78-85.
- [23] 张韵,彭建东,王晶晶,等.基于地学信息图谱的江汉平原土地利用时空变化分析[J].水土保持研究,2020,27(4):85-92.
- [24] 伊木然江·阿卜来提,张永福,孜比布拉·司马义.基于GlobeLand30的哈密市2000—2020年土地利用格局变化研究[J].水土保持通报,2021,41(1):182-189.
- [25] 李颖,郑步云,王劲峰.2008—2018年中国手足口病时空分异特征[J].地球信息科学学报,2021,23(3):419-430.
- [26] 夏利恒,刘京,尉芳,等.陕西渭北旱塬区耕地时空格局变化分析[J].农业工程学报,2021,37(5):256-264.
- [27] 胡昕利,易扬,康宏樟,等.近25年长江中游地区土地利用时空变化格局与驱动因素[J].生态学报,2019,39(6):1877-1886.
- [28] 刘学全,汪鹏,吴翠.湖北省生态敏感性分区与生态退耕标准及规模[J].湖北林业科技,2009(6):36-39.
- [29] 詹丽,张小月,阚如良.鄂西南民族地区县域经济实力综合评价[J].资源开发与市场,2016,32(3):259-262.
- [30] 柯俊,刘芳震.以最严责任、最强力度、最实举措书写优良答卷:决战脱贫攻坚、决胜全面小康看恩施[J].中国民族,2020(12):27-29.