

# 1990—2018 年东江流域土地利用变化及其驱动力

邓信翠, 陈洋波

(中山大学 地理科学与规划学院, 广东 广州 510275)

**摘要:** [目的] 分析东江流域 1990—2018 年土地利用时空变化特征及驱动机制, 为该流域土地利用优化提供科学参考。[方法] 利用流域土地利用数据及统计年鉴数据, 结合土地利用评价指标、主成分分析法及灰色关联分析法分析流域土地利用变化特征及其驱动机制。[结果] ① 东江流域 1990—2018 年土地利用以耕地和林地为主, 流域建设用地面积持续增加, 其余地类面积均呈减少趋势, 耕地和林地是建设用地面积的主要来源; ② 流域土地利用综合指数逐年增加, 变化率为 0.038, 土地利用处于上升发展阶段; ③ 流域土地利用变化驱动力主要为经济增长、人口增长、社会富裕程度和农业发展; 各类驱动因子对各土地利用类型的驱动作用不同。[结论] 1990—2018 年, 东江流域土地利用结构不断优化, 土地利用集聚程度增加, 随着粤港澳大湾区的建设开发, 未来流域内土地开发利用活动将更加频繁。

**关键词:** 土地利用变化; 驱动力分析; 东江流域

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2020)06-0236-07

中图分类号: F301.24

**文献参数:** 邓信翠, 陈洋波. 1990—2018 年东江流域土地利用变化及其驱动力[J]. 水土保持通报, 2020, 40(6): 236-242. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2020.06.034; Deng Xincui, Chen Yangbo. Land use change and its driving mechanism in Dongjiang River basin from 1990 to 2018 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(6): 236-242.

## Land Use Change and Its Driving Mechanism in Dongjiang River Basin from 1990 to 2018

Deng Xincui, Chen Yangbo

(School of Geography and Planning, Sun Yat-sen University, Guangzhou, Guangdong 510275, China)

**Abstract:** [Objective] The spatial-temporal change of land use and its driving mechanism in Dongjiang River basin from 1990 to 2018 was analyzed in order to provide support for the land use optimization. [Methods] Four evaluation indexes of land use, principal component analysis and grey relation analysis methods were employed to investigate the land use change and its driving mechanism. [Results] ① From 1990 to 2018, the land use types were mainly forest and farmland, the area of construction land continue to increase, while the area of other land use types decreased. The cultivated land and forest land were the main transferring sources of the construction land. ② The comprehensive land use index of the river basin increased year by year with an annual rate of 0.038, which indicated that the land use was in an upward developing trend. ③ Rapid economic development, population growth, social affluence, and agricultural development were the main driving forces of land use change, while the effects of various driving factors on land use change were different. [Conclusion] From 1990 to 2018, the land use structure of Dongjiang River basin was continuously optimized, while the land use agglomeration was constantly increasing. With the development of the Guangdong-Hongkong-Macao greater bay area, land development and utilization activities will be more frequent within the basin area.

**Keywords:** land use change; driving force analysis; Dongjiang River basin

土地利用变化体现了人类活动与自然环境的相互作用及影响, 是全球变化研究的热点问题。1995 年, IGCP 和 IHDP 联合提出的“土地利用/覆被变化

科学”研究计划指出了 LUCC 研究重点, 推动了 LUCC 研究在全球范围的发展<sup>[1]</sup>。土地利用变化驱动力是指影响土地利用目的和方式的自然因素和社

收稿日期: 2020-07-12

修回日期: 2020-08-12

资助项目: 国家自然科学基金项目“耦合遥感数据和多学科模型应对全球变化对水文极端事件的影响”(51961125206)

第一作者: 邓信翠(1995—), 女(汉族), 云南省西畴县人, 硕士研究生, 研究方向为水文与水资源研究。Email: dengxc@mail2.sysu.edu.cn。

通讯作者: 陈洋波(1964—), 男(汉族), 湖北省崇阳县人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事城市环境遥感、水文模型、水利信息技术研究。Email: eescyb@mail.sysu.edu.cn。

会经济因素,进行区域土地利用变化驱动力分析,是预测未来土地利用变化方向、优化土地利用方式、提高土地资源利用效率的基础<sup>[2]</sup>。近年来,国内外学者采用土地利用驱动力模型<sup>[3]</sup>对区域土地利用变化及其驱动机制研究取得了较好的研究成果。Lambin<sup>[4]</sup>等对引起土地利用变化的原因进行了系统的阐述;Turne<sup>[5]</sup>等采用案例对比研究方法分析全球土地利用变化与环境变化的关系;Gobint<sup>[6]</sup>用回归模型分析了影响农业土地利用变化的驱动力;史培军<sup>[7]</sup>、摆万奇<sup>[8]</sup>等采用回归分析方法分析区域土地利用变化及驱动因素的关系;谢花林<sup>[9]</sup>、姜楠<sup>[10]</sup>等通过 Logistic 回归模型分析了土地利用变化驱动力;贾科利<sup>[11]</sup>、李晨曦<sup>[12]</sup>等采用主成分分析法研究区域土地利用变化的驱动机制。东江地处粤、港、澳三地交接处,是香港特区以及广东省广州东部、深圳、河源、惠州、东莞等地的主要供水水源。东江流域下游地区经济发达,2017 年东江流域 GDP 总量约占广东省 GDP 的 48%。经济的快速发展驱使流域土地利用格局发生变化,影响流域生态环境质量和可持续发展。现有的关于东江流域土地利用变化驱动研究侧重于分析东江子流域土地利用变化的驱动机制<sup>[13-14]</sup>,土地利用演变分析的时效性和整体性不足。本研究以东江流域为研究区,选取土地利用动态度、土地利用程度和土地利用转移矩阵,分析 1990—2018 年土地利用变化时空特征,采用主成分分析法及灰色关联分析法分析土地利用变化驱动机制,以期优化流域土地利用方式、合理配置土地资源提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

东江发源于江西省寻乌县的桎髻钵,流经龙川、河源、紫金、惠阳、博罗、东莞等县市在东莞石龙镇流入珠江三角洲<sup>[15]</sup>。东江流域地处 113°52′—115°52′E, 22°38′—25°14′N,流域总面积为 35 340 km<sup>2</sup>,干流全长 562 km。地势东北高,西南低。龙川县以上流域为流域上游,龙川县合河坝至观音阁流域为流域中游,下游为观音阁至入海口流域。流域属亚热带季风气候区,有明显的干湿季,流域内多年平均降水量为 1 500~2 400 mm,主要集中在 4—9 月,空间上分布上西南多,东北少,呈现由南到北递减的趋势;流域多年平均气温为 20~22 °C<sup>[16]</sup>。

### 1.2 数据来源

东江流域土地利用数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心提供的 1990—2018 年 6 个时相的土地利用现状遥感监测数据,主要通过目视解译

Landsat 遥感影像数据获得,分辨率为 1 km,利用 ArcGIS 软件进行重分类将土地利用分为 6 类,影像裁剪得到东江流域 1990—2018 年土地利用数据。流域社会经济数据来源于 1990—2018 年广东省、江西省各市县统计年鉴,从人口增长、经济增长、社会富裕程度和农业发展 4 个方面选取 14 个社会经济指标:总人口( $X_1$ )、非农业人口( $X_2$ )、地区生产总值( $X_3$ )、社会消费品零售总额( $X_4$ )、第一产业比例( $X_5$ )、第二产业比例( $X_6$ )、第三产业比例( $X_7$ )、社会固定资产投资( $X_8$ )、地方财政支出( $X_9$ )、地方财政收入( $X_{10}$ )、城镇居民人均可支配收入( $X_{11}$ )、农村居民人均纯收入( $X_{12}$ )、粮食单产( $X_{13}$ )、农村机械总动力( $X_{14}$ )。

### 1.3 研究方法

1.3.1 土地利用动态度 区域土地利用数量变化速率可用土地利用动态度来表示<sup>[17-18]</sup>。其中,单一土地利用动态度是区域某种土地利用的面积在研究期间的变化速度,综合土地利用动态度是区域土地利用变化的整体变化速度。数学表达式为:

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

$$LC = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta LA_{(ij)}}{\sum_{i=1}^n \Delta LA_{(i,t_1)}} \times \frac{1}{t_2 - t_1} \times 100\% \quad (2)$$

式中: $K$  单一土地利用动态度; $U_a, U_b$  分别为研究初期、研究末期土地利用类型面积; $T, t_2 - t_1$  为时间间隔; $LC$  为综合土地利用动态度; $\Delta LA_{(ij)}$  为第  $i$  类土地转变为非  $i$  类土地的绝对值; $\Delta LA_{(i,t_1)}$  为第  $i$  类土地在  $t_1$  时期的面积。

1.3.2 土地利用程度 土地利用程度体现了区域土地利用的综合水平和变化趋势。樊玉山<sup>[19]</sup>等提出了土地利用综合分析方法,将土地利用分为 4 级(表 1),级数越高,土地利用受人类活动影响越大,在此基础上计算流域土地利用程度综合指数及土地利用程度变化率<sup>[20]</sup>。

表 1 东江流域土地利用程度赋值表

| 土地利用类型 | 未利用地 | 林地、水域、草地 | 耕地 | 建设用地 |
|--------|------|----------|----|------|
| 分级指数   | 1    | 2        | 3  | 4    |

1.3.3 土地利用转移矩阵 土地利用转移矩阵是土地利用变化分析常用的一种方法,以矩阵形式全面的反映研究区各类土地利用相互的转移情况及土地利用结构变化特征<sup>[21]</sup>。本研究利用 ArcGIS 软件对流域 1990 和 2018 年土地利用数据进行叠加分析,制作东江流域 1990—2018 年土地利用转移矩阵。

1.3.4 土地利用变化驱动力分析 自然环境因素和社会经济因素是影响土地利用变化的主要驱动因素,自然因素制约了土地利用空间分布和开发利用程度,社会经济因素则是土地利用结构变化的主要驱动力<sup>[22]</sup>。土地利用变化驱动力分析需要建立细致全面的指标体系,主成分分析法基本思路是降维,将驱动力因子中的冗余信息剔除,用较少的指标代替并表达出原来较多的信息<sup>[23]</sup>。灰色关联分析通过计算驱动因子与各土地利用面积变化的关联度,确定因子对土地利用变化的驱动作用的大小,关联度越大,驱动作用也就越大,反之则越小,该方法有效的克服了单因子分析的假定性,与土地系统的复杂性相适应<sup>[24]</sup>。本研究采用主成分分析方法研究东江流域土地利用变化社会经济驱动机制;采用灰色关联分析方法探索社会经济驱动因子对各土地利用变化的驱动作用,由于未利用地面积较小,本研究不对未利用地变化驱动因子进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 土地利用结构变化分析

1990—2018 年东江流域土地利用分布如附图 14 所示。流域土地利用以林地和耕地为主,未利用地面积占比最小,1990—2018 年土地利用结构变化主要表现为建设用地持续增加,耕地、林地、草地、水域和未利用地面积逐年减少。1990 年,流域林地面积占

比为 69.08%,林地在流域内分布较为广泛,1990—2018 年,林地面积共计减少了 766.039 km<sup>2</sup>,面积减少主要发生在下游的深圳市和东莞市,至 2018 年林地面积占比为 66.89%。耕地 1990 年面积占比为 19.62%,2000—2005 年期间,耕地面积急剧下降,面积占比减少了 1.51%,2005 年后耕地变化相对平缓,至 2018 年面积共计减少了 1 171.25 km<sup>2</sup>,流域下游东莞市和深圳市耕地面积减少最为突出,耕地主要分布在流域下游的博罗县、增城区、惠阳市和惠东县,沿河流两岸分布。草地 1990 年面积占比为 3.35%,2018 年为 3.04%,面积变化较小,主要分布在中游紫金县、东源县和连平县。1990 年水域面积占比为 4.41%,研究期内面积共计减少了 44.749 km<sup>2</sup>,2018 年面积占比为 4.28%。1990—2018 年,建设用地面积逐年增加,由 1990 年的 1 225.31 km<sup>2</sup> 增长至 2018 年的 3 321.34 km<sup>2</sup>,面积及占比分别增加了 2 096.03 km<sup>2</sup> 和 6.34%,2000—2005 年期间,建设用地面积增幅最大,流域占比增加了 2.46%,2005 年后变化幅度减缓,面积增加主要发生在流域中、下游的深圳市、东莞市、惠阳市、增城区和源城区。未利用地在流域内面积占比较少,研究期间面积共计减少了 2.3 km<sup>2</sup>,主要分布在下游东莞市。

### 2.2 土地利用速度变化

东江流域单一土地利用动态度以及综合土地利用动态度详见表 2。

表 2 东江流域 1990—2018 年土地利用面积变化

| 项目  | 时期          | 单一土地利用动态度 |       |       |       |       |       | 综合土地利用动态度 |
|-----|-------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
|     |             | 耕地        | 林地    | 草地    | 水域    | 城市用地  | 未利用地  |           |
| 全流域 | 1990—2000 年 | -0.36     | -0.08 | -0.43 | -0.02 | 3.93  | 0.56  | 5.38      |
|     | 2000—2005 年 | -1.59     | -0.22 | -0.12 | -0.84 | 10.02 | -1.85 | 14.63     |
|     | 2005—2018 年 | -0.50     | -0.10 | -0.38 | 0.12  | 2.26  | -5.26 | 8.63      |
|     | 1990—2018 年 | -0.61     | -0.11 | -0.34 | -0.10 | 6.09  | -2.49 | 9.75      |
| 上游  | 1990—2000 年 | 0.09      | 0.00  | 0.39  | 0.00  | 0.04  | —     | 0.53      |
|     | 2000—2005 年 | 0.76      | -0.29 | 6.47  | -0.15 | 5.83  | —     | 13.50     |
|     | 2005—2018 年 | 0.15      | -0.03 | -0.86 | -0.13 | 12.07 | —     | 13.24     |
|     | 1990—2018 年 | 0.24      | -0.07 | 0.79  | -0.09 | 8.33  | —     | 9.51      |
| 中游  | 1990—2000 年 | 0.07      | 0.04  | -0.60 | -0.08 | 0.09  | —     | 0.87      |
|     | 2000—2005 年 | -0.72     | 0.13  | -0.76 | -0.27 | 6.50  | —     | 8.37      |
|     | 2005—2018 年 | 0.07      | -0.10 | -0.19 | 0.18  | 8.08  | —     | 8.61      |
|     | 1990—2018 年 | -0.07     | -0.01 | -0.42 | 0.01  | 6.21  | —     | 6.72      |
| 下游  | 1990—2000 年 | -0.47     | 0.01  | -1.21 | 1.55  | 1.22  | 0.00  | 4.46      |
|     | 2000—2005 年 | -3.25     | -0.97 | -3.79 | -1.24 | 23.20 | -0.83 | 33.28     |
|     | 2005—2018 年 | -0.86     | -0.15 | -0.51 | 0.19  | 1.90  | -5.26 | 8.87      |
|     | 1990—2018 年 | -1.04     | -0.24 | -1.20 | 0.39  | 7.22  | -2.49 | 12.58     |

从单一土地利用动态度来看,1990—2018年,建设用地土地动态度最大,地类变化速度最快,平均年变化速率为6.09%,其次是未利用地、耕地、草地、林地和水域,土地利用动态度分别为-2.49%,-0.61%,-0.34%,-0.11%和-0.10%。流域未利用地面积基数较小,研究期间面积变化速率较大;耕地、草地和林地的面积减少的变化速率较大,说明随着流域社会经济的发展,土地利用受人类活动影响较大。各类土地利用类型在2000—2005年单一土地利用动态度最大,这一阶段土地利用面积变化速率最大。总体来看,1990—2018年流域土地利用变化速率呈先增加后减少趋势。各类土地利用区域变化幅度差异明显,草地与耕地区域变化趋势一致,耕地在流域上游呈增加趋势,中、下游呈减少趋势,下游地类变化幅度最大;林地各流域内均呈减少趋势,变化幅度较小;水域变化趋势与耕地相反,在流域上游呈减少趋势,中、下游呈增加趋势;建设用地在各子流域内均呈增加趋势。

各土地利用变化速率呈先增加后减少趋势,土地利用区域变化趋势较一致,建设用地表现为:上游>下游>中游,其余土地利用均为:下游>上游>中游,且下游地类变化速率高于流域整体地类变化。1990—2018年,东江流域综合土地利用动态度先增加后降低,后期土地利用变化速度减缓。依据刘纪远先生提出的土地利用动态特征划分标准<sup>[25]</sup>:急剧变化型(21~24)、快速变化型(13~20)、缓慢变化型(4~12)和极缓慢变化型(0~3),东江流域1990—2018年期间的土地利用综合动态度为9.75,各子流域分别为9.51,6.72和12.58,流域土地利用处于缓慢变化阶段,仍处于较低水平。

### 2.3 土地利用程度分析

1990—2018年东江流域土地利用综合指数详见表3。由表3可知,1990—2018年,东江流域土地利用综合指数处于中上游水平,土地利用综合指数持续

增加,土地利用综合指数变化率为大于0,土地利用处于上升发展期。

随着社会经济的快速发展,流域土地利用集约化程度增加,土地利用结构不断优化。其中,流域上、中游土地利用程度低于流域水平,下游高于流域水平,这可能是由于流域上、中游林地面积比例较大,建设用地面积较小。

### 2.4 土地利用类型转化

结合东江流域土地利用转移矩阵(表4)可知,1990—2018年,建设用地面积增加了2096.04 km<sup>2</sup>,其中耕地转入面积为1042.85 km<sup>2</sup>,占到建设用地增加面积的49.75%,林地转入面积为770.28 km<sup>2</sup>,占建设用地增加面积的36.75%,林地和耕地是建设用地增加的主要来源。耕地面积共计减少了1171.25 km<sup>2</sup>,主要转出方向为建设用地、水域和林地,净转出面积分别为1042.85,87.70,60.04 km<sup>2</sup>;林地转出面积为766.04 km<sup>2</sup>,主要转向为建设用地和水域,净转出面积为770.28 km<sup>2</sup>,49.56 km<sup>2</sup>;草地转出面积为114.75 km<sup>2</sup>,主要转向为建设用地和耕地,净转出面积分别为17.88,97.31 km<sup>2</sup>。水域主要由耕地、林地和草地转入,净转入面积分别为87.70,49.56和3.07 km<sup>2</sup>,1990—2018年,水域地类面积共计减少44.749 km<sup>2</sup>,主要转为建设用地,净转出面积为185.54 km<sup>2</sup>;未利用地面积变化较小,其主要转向为水域和林地。

对比区域土地利用转移矩阵(表5),土地利用转化差异较大。耕地转化上,上游主要由林地转入增加,中游和下游耕地主要转为建设用地;林地转化上,上游主要转出方向为耕地,中游和下游则主要转换为建设用地。草地转化上,上游主要由林地转入增加,中、下游主要向建设用地、林地和耕地转出。水域转化上,上游主要转向为耕地,中游主要由林地转入,下游水域增加来源为林地和耕地的转入,主要转出为建设用地;建设用地转化上,各子流域建设用地面积增加主要来源于耕地和林地的转入。

表3 东江流域1990—2018年土地利用综合指数及变化率

| 项目          | 位置  | 1990年 | 2000年 | 2005年 | 2010年 | 2015年 | 2018年 |
|-------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 土地利用综合指数    | 全流域 | 226.6 | 228.7 | 232.1 | 233.3 | 234.0 | 235.3 |
|             | 上游  | 211.7 | 211.8 | 212.4 | 212.3 | 212.6 | 213.6 |
|             | 中游  | 214.1 | 214.2 | 214.2 | 214.1 | 214.6 | 216.0 |
|             | 下游  | 241.7 | 242.0 | 253.6 | 256.2 | 257.2 | 258.4 |
| 土地利用综合指数变化率 | 全流域 | 0.038 |       |       |       |       |       |
|             | 上游  | 0.009 |       |       |       |       |       |
|             | 中游  | 0.009 |       |       |       |       |       |
|             | 下游  | 0.069 |       |       |       |       |       |

表 4 东江流域 1990—2018 年土地利用转移矩阵

km<sup>2</sup>

| 项目        | 2018 年   |           |          |          |          |      | 合计        |
|-----------|----------|-----------|----------|----------|----------|------|-----------|
|           | 耕地       | 林地        | 草地       | 水域       | 建设用地     | 未利用地 |           |
| 1990 年 耕地 | 2 678.83 | 2 420.46  | 183.38   | 273.30   | 1 291.28 | 0.52 | 6 847.77  |
| 林地        | 2 360.42 | 19 897.17 | 581.24   | 330.99   | 956.18   | 0.30 | 24 126.30 |
| 草地        | 201.26   | 574.72    | 254.73   | 25.47    | 112.11   | 0.00 | 1 168.29  |
| 水域        | 185.60   | 281.43    | 22.41    | 801.32   | 239.63   | 0.00 | 1 530.39  |
| 建设用地      | 248.43   | 185.90    | 14.80    | 54.09    | 721.89   | 0.20 | 1 225.31  |
| 未利用地      | 1.98     | 0.59      | 0.00     | 0.47     | 0.25     | 0.00 | 3.29      |
| 合计        | 5 676.52 | 23 360.27 | 1 056.56 | 1 485.64 | 3 321.34 | 1.02 | 34 901.35 |

表 5 东江流域上、中、下游 1990—2018 年土地利用转移矩阵

km<sup>2</sup>

| 项目        | 2018 年   |          |           |        |          |          | 合计        |           |
|-----------|----------|----------|-----------|--------|----------|----------|-----------|-----------|
|           | 耕地       | 林地       | 草地        | 水域     | 建设用地     | 未利用地     |           |           |
| 1990 年 上游 | 耕地       | 141.05   | 402.34    | 23.65  | 2.88     | 13.26    | —         | 583.18    |
|           | 林地       | 452.97   | 3 785.26  | 81.74  | 29.54    | 24.13    | —         | 4 373.63  |
|           | 草地       | 16.73    | 67.24     | 32.05  | 0.80     | 0.98     | —         | 117.80    |
|           | 水域       | 3.99     | 30.03     | 1.29   | 42.51    | 0.11     | —         | 77.93     |
|           | 建设用地     | 3.91     | 6.03      | 0.46   | 0.25     | 1.23     | —         | 11.88     |
|           | 合计       | 618.64   | 4 290.89  | 139.20 | 75.98    | 39.71    | —         | 5 164.43  |
| 1990 年 中游 | 耕地       | 626.28   | 893.12    | 102.38 | 29.20    | 100.45   | —         | 1 751.44  |
|           | 林地       | 898.29   | 9 058.02  | 350.94 | 110.72   | 77.87    | —         | 10 495.84 |
|           | 草地       | 114.96   | 359.49    | 165.54 | 9.50     | 25.59    | —         | 675.08    |
|           | 水域       | 29.71    | 102.43    | 9.20   | 406.14   | 6.30     | —         | 553.78    |
|           | 建设用地     | 35.00    | 18.05     | 5.60   | 3.25     | 24.17    | —         | 86.07     |
|           | 合计       | 1 704.24 | 10 431.11 | 633.67 | 558.82   | 234.38   | —         | 13 562.21 |
| 1990 年 下游 | 耕地       | 1 914.67 | 1 126.39  | 58.11  | 236.42   | 1 177.00 | 0.52      | 4 513.12  |
|           | 林地       | 1 010.75 | 7 062.70  | 146.98 | 180.79   | 855.32   | 0.30      | 9 256.84  |
|           | 草地       | 68.72    | 147.31    | 58.60  | 14.57    | 86.18    | 0.00      | 375.38    |
|           | 水域       | 148.14   | 138.64    | 11.36  | 368.30   | 232.27   | 0.00      | 898.72    |
|           | 建设用地     | 209.36   | 162.67    | 8.65   | 50.29    | 696.23   | 0.20      | 1 127.40  |
|           | 未利用地     | 1.98     | 0.55      | 0.00   | 0.47     | 0.25     | 0.00      | 3.26      |
| 合计        | 3 353.64 | 8 638.27 | 283.69    | 850.84 | 3 047.25 | 1.02     | 16 174.71 |           |

## 2.5 驱动土地利用力分析

2.5.1 主成分分析 根据主成分提取条件：①特征值>1；②累计贡献率>85%，提取出两个主成分因子（贡献率为 95.287%）。第一主成分（贡献率 55.745%）与  $X_3$ （地区生产总值）， $X_4$ （社会消费品零售总额）， $X_7$ （第三产业比例）， $X_8$ （社会固定资产投资）， $X_9$ （地方财政支出）， $X_{10}$ （地方财政收入）， $X_{11}$ （城镇居民人均可支配收入）， $X_{12}$ （农村居民人均纯收入）具有较强的正相关，与  $X_6$ （第二产业比例）具有较强的负相关，这些因子主要与经济发展水平与社会富裕程度有关，第一主成分主要表达了经济增长和社会富裕程度的变化。第二主成分（贡献率 39.542%）与  $X_1$ （总人口）， $X_2$ （非农业人口）， $X_{13}$ （粮食单产）， $X_{14}$ （农村机械总动力）存在较强的正相关，与  $X_5$ （第一产业比例）存在较强的负相关，主要反映了人口增长和农业发展。

根据因子得分矩阵，可得到提取的两个主成分的表达式，以提取的主成分对应的方差贡献率占总方差贡献率的比例为权重，计算得到 1990—2018 年东江流域土地利用变化驱动力综合得分：

$$F = (55.745F_1 + 39.542F_2) / 95.287 \quad (3)$$

式中： $F_1$ ， $F_2$  分别为第一主成分、第二主成分表达式。

由图 1 可知，东江流域土地利用变化综合驱动力得分逐年增加，变化呈直线上升趋势，其中 1990—2005 年土地利用变化综合驱动力得分为负值，2005 年后驱动力得分为正值，东江流域社会经济驱动因素对土地利用变化影响逐渐增强。

综合以上分析，本研究将影响东江流域 1990—2018 年土地利用变化的社会经济驱动因子归纳为人口增长、经济增长、社会富裕程度和农业发展。

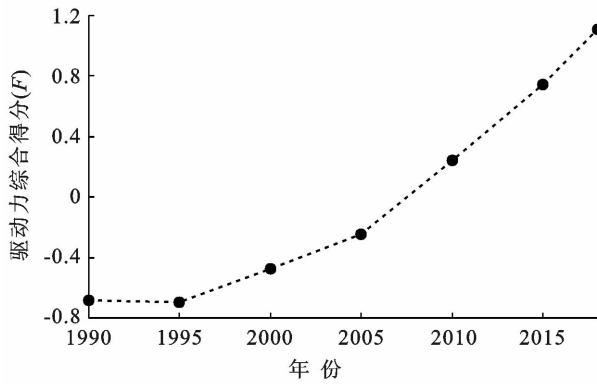


图1 东江流域1990—2018年驱动力综合得分

2.5.2 灰色关联分析 结合表6可知,①耕地变化与 $X_5$ (第一产业比例), $X_6$ (第二产业比例), $X_{14}$ (农村机械总动力), $X_{12}$ (农村居民人居纯收入)以及 $X_{11}$ (城镇居民人均可支配收入)等因子有较高的关联度,经济增长特别是产业结构调整、农业发展和居民生活水平是耕地变化的主要驱动力。②林地变化与 $X_5$ (第一产业比例), $X_6$ (第二产业比例), $X_{14}$ (农村机械总动力), $X_{12}$ (农村居民人居纯收入)以及 $X_{11}$ (城镇居民人均可支配收入)等因子关联度较高,影响林地变化的驱动因子与耕地一致。③草地变化与 $X_5$ (第一产业比例), $X_{14}$ (农村机械总动力), $X_6$ (第二产业比例), $X_{12}$ (农村居民人居纯收入)及 $X_1$ (总人口)有较高的关联度。影响最大的是经济增长中产业结构的调整,其次为农业发展、居民生活水平和人口增长。④对水域变化影响较大的因子为 $X_{12}$ (农村居民人居纯收入), $X_1$ (总人口), $X_{11}$ (城镇居民人均可支配收入)及 $X_{12}$ (农村居民人居纯收入)。居民生活水平和人口增长是主要驱动力。⑤对建设用地影响最大的因子为 $X_1$ (总人口),其次为 $X_2$ (非农业人口), $X_{13}$ (粮食单产)及 $X_3$ (地区生产总值)。建设用地变化的主要驱动因子为人口增长、农业发展和经济增长。总体来说,影响东江流域土地利用变化的驱动力因子依次为经济增长、人口增长、社会富裕程度和农业发展,但各社会经济驱动力并没有明显的主次之分。土地利用变化是一个复杂的演变过程,不同地类的影响因素并不是孤立存在的,而是相互制约、相互促进的关系,把所有驱动因素看成一个完整的系统,对驱动因子有全面的认识,才能完整地揭示土地利用演变过程的驱动机制。

### 3 讨论与结论

#### 3.1 讨论

通过对东江流域土地利用变化分析可知,区域土地利用变化差异较大,土地利用处于缓慢变化阶段,

社会经济发展对流域土地利用变化驱动作用逐渐增加,流域土地利用具有充裕的开发空间,特别是流域中上游地区,但流域土地利用开发过程会受自然地理环境和社会经济活动等因素的影响。东江流域上游以山地丘陵为主,中游以丘陵和平原地貌为主,易发生水土流失、水旱灾害等自然灾害,地形和自然灾害限制了土地资源的开发利用;流域下游以冲积平原为主,地势平坦,土地易被开发利用。流域草地、林地集中分布在中上游地区,耕地和建设用地则主要分布在流域下游,流土地利用空间分布格局及开发利用程度表明了自然地理环境对土地利用的影响。人口增长、经济发展、区域发展规划差异等也是影响流域土地利用变化的主要因素,区域人口、GDP、城市化水平差异显著,表现为:下游>中游>上游,人口、社会经济的快速增长,更易促进非建设用地向建设用地转化,城镇化扩张越快,1990—2018年区域土地利用综合水平与流域社会经济发展程度较一致,表明了人口和社会经济发展对土地利用结构的影响。政府决策方面,为保护东江源区生态环境,赣江政府2003年提出打造“脐橙基地”的产业定位,建设“水源涵养林”,实施以“青山绿水”为重点的生态工程。2005年,中游地区遭遇了百年一遇洪涝灾害,政府推进了区域水源林和防护林的建设;此外,韶关市、河源市和梅州市为北部生态经济发展区,限制了区域林地向其他地类的转换。

表6 社会经济驱动因子与土地利用关联度

| 影响因子     | 关联度  |      |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|------|
|          | 耕地   | 林地   | 草地   | 水域   | 建设用地 |
| $X_1$    | 0.50 | 0.54 | 0.62 | 0.66 | 0.92 |
| $X_2$    | 0.49 | 0.53 | 0.60 | 0.65 | 0.92 |
| $X_3$    | 0.52 | 0.56 | 0.58 | 0.63 | 0.84 |
| $X_4$    | 0.51 | 0.55 | 0.57 | 0.62 | 0.83 |
| $X_5$    | 0.81 | 0.78 | 0.77 | 0.61 | 0.54 |
| $X_6$    | 0.73 | 0.77 | 0.64 | 0.64 | 0.58 |
| $X_7$    | 0.52 | 0.56 | 0.59 | 0.64 | 0.82 |
| $X_8$    | 0.52 | 0.56 | 0.58 | 0.63 | 0.84 |
| $X_9$    | 0.51 | 0.56 | 0.58 | 0.62 | 0.81 |
| $X_{10}$ | 0.51 | 0.55 | 0.57 | 0.62 | 0.81 |
| $X_{11}$ | 0.53 | 0.57 | 0.61 | 0.66 | 0.83 |
| $X_{12}$ | 0.53 | 0.58 | 0.62 | 0.68 | 0.80 |
| $X_{13}$ | 0.43 | 0.46 | 0.52 | 0.60 | 0.85 |
| $X_{14}$ | 0.56 | 0.58 | 0.67 | 0.63 | 0.74 |

下游自改革开放以来,深圳和广州经济快速发展,并带动了东莞市和惠州市的经济发展,推动了下游地区城市化发展,与2000年之后建设用地面积快速增加、耕地面积急剧减少相呼应。随着粤港澳大湾区

区建设的推进,便捷的区位条件和完善的交通体系给东江流域带来了新的发展机遇。结合流域土地利用变化特点,本文提出以下区域发展策略:上游地区在产业结构调整过程中应加强对林地的保护,减少城镇建设对林地、耕地的影响;中游地区在推进城镇化和工业化过程中,应提高土地利用集约化水平,减少无序扩张造成的土地资源浪费,加强对重要及敏感生态功能区的保护;下游城镇化水平较高,城市扩张带来了建设用地供需矛盾突出、生态建设与环境保护用地比例低等问题,应推进城镇、工矿和农村居民点整合,促进土地利用布局聚集,并加强生态建设与环境保护用地保护和生态环境建设。

### 3.2 结论

(1) 东江流域土地利用主要以林地和耕地为主,未利用地所占比重最小。1990—2018年,建设用地面积持续增加,其余地类均呈减少趋势。土地利用变化速率呈先增加后减少趋势,2000—2005年土地利用变化速率最快;除建设用地外,地类变化速率表现为:下游>上游>中游,上、中、下游流域地类变化差异显著。

(2) 1990—2018年,流域建设用地主要由耕地和林地转入,草地、水域和未利用地主要转向均为建设用地。流域上游林地面积减少显著,主要向耕地、草地转化;中游林地、耕地、草地呈减少趋势,主要转为建设用地;下游耕地、林地、草地和水域主要向建设用地转出。

(3) 经济增长、人口增长、社会富裕程度和农业发展是东江流域土地利用变化主要的社会经济驱动因子,驱动因子对流域土地利用变化驱动影响逐年增加。通过灰色关联分析可知,社会经济驱动因子对各土地利用变化的驱动作用不同,其中,经济增长特别是产业结构调整、农业发展和居民生活水平是影响耕地和林地的主要驱动力;人口增长和居民生活水平是草地和水域的主要驱动力;影响建设用地的因子主要为人口增长、农业发展和经济增长。

(4) 随着社会经济发展,流域土地利用结构不断优化,土地利用集约化程度逐渐增加。1990—2018年流域土地利用综合指数呈直线上升,土地利用综合指数变化率为0.038,流域处于上升发展阶段,土地资源不断向经济效益更高的土地利用类型转变。随着粤港澳大湾区的建设开发,未来流域内土地开发利用活动将更加频繁。

cover change: Toward an integrated program of study [J]. *Ambio*, 1994, 23(1): 91-95.

- [2] 杨梅,张广录,侯永平. 区域土地利用变化驱动力研究进展与展望[J]. *地理与地理信息科学*, 2011, 27(1): 95-100.
- [3] 蔺卿, 罗格平, 陈曦. LUCC 驱动力模型研究综述[J]. *地理科学进展*, 2005, 24(5): 79-87.
- [4] Eric F L, Turner B L, Helmut J G, et al. The causes of land-use and land-cover change: Moving beyond the myths [J]. *Global Environmental Change (Part A): Human & Policy Dimensions*, 2001, 11(4): 261-269.
- [5] Turner B L, Lambin E F, Reenberg A. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2007, 104(52): 20666-20671.
- [6] Gobin A, Campling P, Feyen J. Logistic modelling to derive agricultural land use determinants: A case study from southeastern Nigeria [J]. *Agriculture, ecosystems & environment*, 2002, 89(3): 213-228.
- [7] 史培军, 陈晋, 潘耀忠. 深圳市土地利用变化机制分析[J]. *地理学报*, 2000, 67(2): 151-160.
- [8] 摆万奇, 阎建忠, 张懿铨. 大渡河上游地区土地利用/土地覆被变化与驱动力分析[J]. *地理科学进展*, 2004, 23(1): 71-78.
- [9] 谢花林, 李波. 基于 Logistic 回归模型的农牧交错区土地利用变化驱动力分析: 以内蒙古翁牛特旗为例[J]. *地理研究*, 2008, 27(2): 294-304.
- [10] 姜楠, 贾宝全, 宋宜昊. 基于 Logistic 回归模型的北京市耕地变化驱动力分析[J]. *干旱区研究*, 2017, 34(6): 1-9.
- [11] 贾科利, 张俊华. 宁夏中部干旱带土地利用变化及驱动力分析[J]. *水土保持研究*, 2011, 18(6): 62-66.
- [12] 李晨曦, 吴克宁, 查理思. 京津冀地区土地利用变化特征及其驱动力分析[J]. *中国人口·资源与环境*, 2016, 26(S1): 252-255.
- [13] 黄锦凤. 惠州东江流域土地利用变化时空特征及驱动力研究[D]. 湖南长沙: 中南大学, 2011.
- [14] 孙琳, 唐国平, 窦乙峰, 等. 东江流域 2001—2013 年土地利用/覆被类型变化的时空特征及成因[J]. *水土保持通报*, 2018, 38(3): 293-300, 306.
- [15] 王好芳, 郭乐, 窦实. 东江流域水资源承载能力评价及可持续利用对策[J]. *节水灌溉*, 2007(8): 52-54.
- [16] 吕乐婷, 彭秋志, 廖剑宇, 等. 近 50 年东江流域降雨径流变化趋势研究[J]. *资源科学*, 2013, 35(3): 514-520.
- [17] 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.
- [18] 刘纪远, 布和敖斯尔. 中国土地利用变化现代过程时空特征的研究: 基于卫星遥感数据[J]. *第四纪研究*, 2000, 20(3): 229-239.

### [ 参 考 文 献 ]

[1] Turner B L, Meyer W B, Skole D L. Global land use/land

(下转第 258 页)

- [13] Tanner M K, Moity N, Costa M T, et al. Mangroves in the Galapagos: Ecosystem services and their valuation [J]. *Ecological Economics*, 2019, 160(6):12-24.
- [14] 李子君, 刘金玉, 姜爱霞, 等. 基于土地利用的沔河流域生态系统服务价值动态变化[J]. *水土保持研究*, 2020, 27(2):269-275, 283.
- [15] 朱增云, 阿里木江·卡斯木. 干旱区绿洲城市生态系统服务价值空间自相关格局分析与模拟[J]. *生态与农村环境学报*, 2019, 35(12):1531-1540.
- [16] 杨莹, 侯凯旋, 岳卫峰, 等. 基于复合系统相互作用关系的水资源承载力研究: 以巩义市为例[J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2019, 55(5):669-676.
- [17] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 等. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J]. *自然资源学报*, 2015, 30(8):1243-1254.
- [18] 田俊峰, 王彬燕, 程利莎, 等. 政策主导下的区域土地利用转型过程与机制: 以中国东北地区为例[J]. *地理研究*, 2020, 39(4):805-821.
- [19] 王颖, 顾朝林. 基于格网分析法的城市弹性增长边界划定研究: 以苏州市为例[J]. *城市规划*, 2017, 41(3):25-30.
- [20] 宋文飞, 李国平, 韩先锋. 生态系统服务价值化: 经济理论脉络及现代解读[J]. *科技管理研究*, 2015, 35(9):244-249.
- [21] 谢高地, 肖玉, 甄霖, 等. 我国粮食生产的生态服务价值研究[J]. *中国生态农业学报*, 2005, 13(3):10-13.
- [22] 郭椿阳, 高尚, 周伯燕, 等. 基于格网的伏牛山区土地利用变化对生态服务价值影响研究[J]. *生态学报*, 2019, 39(10):3482-3493.
- [23] 张利国, 鲍丙飞, 杨胜苏. 我国农业可持续发展空间探索性分析[J]. *经济地理*, 2019, 39(11):159-164.
- [24] 刘耀林, 郝弘睿, 谢婉婷, 等. 基于生态系统服务价值的土地利用空间优化[J]. *地理与地理信息科学*, 2019, 35(1):69-74.

(上接第 242 页)

- [19] 樊玉山, 刘纪远. 西藏自治区土地利用[M]. 北京: 科学出版社, 1994.
- [20] 柴雪柯, 蒋观滔, 高鹏, 等. 渭河流域土地利用变化特征及驱动力分析[J]. *人民黄河*, 2016, 38(8):77-81, 85.
- [21] 刘瑞, 朱道林. 基于转移矩阵的土地利用变化信息挖掘方法探讨[J]. *资源科学*, 2010, 32(8):1544-1550.
- [22] 史洪超. 土地利用/覆被变化(LUCC)研究进展综述[J]. *安徽农业科学*, 2012, 40(26):13107-13110, 13125.
- [23] 赵小汎, 代力民, 陈文波, 等. 耕地与建设用地变化驱动力比较分析[J]. *地理科学*, 2008, 28(2):214-218.
- [24] 刘思峰, 蔡华, 杨英杰, 等. 灰色关联分析模型研究进展[J]. *系统工程理论与实践*, 2013, 33(8):2041-2046.
- [25] 刘纪远, 张增祥, 庄大方, 等. 20 世纪 90 年代中国土地利用变化的遥感时空信息研究[M]. 北京: 科学出版社.

(上接第 248 页)

- [16] 马颖忆, 陆玉麒, 柯文前, 等. 泛亚高铁建设对中国西南边疆地区与中南半岛空间联系的影响[J]. *地理研究*, 2015, 34(5):825-837.
- [17] 刘静玉, 刘玉振, 邵宁宁, 等. 河南省新型城镇化的空间格局演变研究[J]. *地域研究与开发*, 2012, 31(5):143-147.
- [18] 陈凤桂, 张虹欧, 吴旗韬, 等. 我国人口城镇化与土地城镇化协调发展研究[J]. *人文地理*, 2010, 25(5):53-58.
- [19] 范辉, 刘卫东, 吴泽斌, 等. 浙江省人口城市化与土地城市化的耦合协调关系评价[J]. *经济地理*, 2014, 34(12):21-28.
- [20] 张明斗, 莫冬燕. 城市土地利用效益与城市化的耦合协调性分析: 以东北三省 34 个地级市为例[J]. *资源科学*, 2014, 36(1):8-16.
- [21] 李德胜, 王占岐, 蓝希. 环鄱阳湖城市群人口城市化与土地城市化协调度评价[J]. *国土资源科技管理*, 2016, 33(1):16-23.
- [22] 徐建华. 计量地理学[M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2014, 123-125.
- [23] 林珍铭, 夏斌. 嫡视角下的广州城市生态系统可持续发展能力分析[J]. *经济地理*, 2013, 68(1):45-47.
- [24] 杨洋, 王晨, 章立玲, 等. 基于国家规划的新型城镇化状态定量评估指标体系构建及应用[J]. *经济地理*, 2015, 35(7):51-58.
- [25] 吴文恒, 牛叔文, 郭晓东, 等. 中国人口与资源环境耦合的演进分析[J]. *自然资源学报*, 2006, 21(6):853-861.
- [26] 孙东琪, 张京祥, 张明斗, 等. 长江三角洲城市化效率与经济发展水平的耦合关系[J]. *地理科学进展*, 2013, 32(7):1060-1071.
- [27] 崔木花. 中原城市群 9 市城镇化与生态环境耦合协调发展[J]. *经济地理*, 2015, 35(7):72-78.