

长株潭核心区土地利用变化时空格局及驱动力多维分析

李毅¹ 肖腊梅¹ 胡文敏² 易敏³ 谢宜章¹¹

(1. 湖南农业大学 商学院, 中国湖南 长沙 410128;

2. 中南林业科技大学 林学院, 中国湖南 长沙 410004;

3. 湖南省环境监测中心站, 中国湖南 长沙 410014)

【摘要】: 以长株潭城市群中开发强度最大的长株潭核心区作为研究对象, 利用 GIS 和计量分析工具分析长株潭核心区 2000—2018 年土地利用变化的时空特征, 从自然环境、区位交通、经济发展、政策导向、产业驱动、人口增长等六大维度, 以及城市交互作用等方面研究土地利用变化驱动机制, 采用 Logistic 回归模型探究各地类变化的驱动因子, 研究结果表明: (1) 2000—2018 年, 耕地减少 324.96km²、林地减少 855.47km², 建设用地增长 1161.87km², 草地与水体面积总体保持稳定并略有变动。(2) 2000—2008 与 2008—2018 年两期耕地、林地、建设用地变化驱动因子存在较大差异。(3) 自然环境 (DEM、河流水系) 是耕地、林地和建设用地变化的基础条件, 从根本上决定着三种地类变化的空间形态; 区位交通中公路、铁路等交通网络的延伸, 扩大了三种地类变化的范围; 经济发展、政策导向、产业发展、人口增长加快了三种地类变化的速度。(4) 城市交互作用强度有效反映了各种地类变化, 特别是建设用地变化的趋势, 这表明城市交互作用强度是除六大维度外的第七大影响因素。

【关键词】: 长株潭核心区 驱动力 建设用地

【中图分类号】: F301.24 **【文献标志码】:** A **【文章编号】:** 1000-8462 (2021) 07-0173-10

土地利用及其变化受区域经济发展、社会进步和自然环境等多重因素影响^[1], 其数量、质量结构和空间格局呈现出一定规律性分布, 并深刻影响区域内生态环境状况^[2]。土地利用变化动力机制旨在揭示土地利用变化的原因、机理^[3], 并预测未来发展方向^[4], 它是目前土地利用研究中的热点与难点问题, 一直备受国内外学者的重视。因此, 聚焦土地利用驱动力分析, 可理清区域土地利用变化过程, 找准驱动土地利用变化的关键因素, 对调整区域土地利用政策, 提升区域可持续发展绩效, 实现土地资源高效、绿色、集约利用具有重要的理论和实践意义^[5]。

城市群是经济、社会与城镇化发展到一定程度的产物, 是城市一体化的高级空间组织形态^[6], 是物质流、人流和信息流等空

作者简介: 李毅(1979-), 男, 湖南耒阳人, 博士, 讲师, 硕士生导师, 研究方向为生态经济、城市代谢与可持续发展。E-mail:yibsen@163.com

谢宜章(1986-), 男, 湖南永州人, 博士, 讲师, 硕士生导师, 研究方向为生态经济与管理。E-mail:xieyz@hunau.edu.cn

基金项目: 湖南省自然科学基金项目(2018JJ3247、2020JJ5265、2021JJ30368); 湖南省社会科学成果评审委员会一般项目(XSP20YBC402)

间流频繁交换的区域^[7]，其土地利用变化是多因素协同驱动的复杂过程。有关城市或城市群土地利用变化驱动因素的论述，国内外成果颇丰。在国外，城市发展驱动力分析始于 Alfred Weber 创立的工业区位理论^[8]。现代意义城市群动力机制分析首倡者为法国地理学家 Jean Gottmann, 1957 年他提出了大都市带理论，并对美国东海岸城市带成长机理进行分析^[9]。后续学者 Krugman、Hershberg、Baruch、Portnov、Boddy、Ascione 分别从区位优势^[10]、政府协调^[11]、地理位置^[12]、人口迁移^[13]、产业发展^[14]、生态环境^[15]等不同角度探究城市群发展的动力机制。在国内，姚士谋指出：城市的发展受自然、经济和国家政策驱动^[16]，并进一步阐述城市群发展是经济与非经济因素共同驱动的结果^[17]。相关学者主要聚焦长三角城市群、珠三角城市群、京津冀城市群、长江中游城市群、辽宁中部城市群、武汉城市圈和长株潭城市群等，从经济活动^[18]、政策制度^[19]、地理区位^[19]、人口数量^[18]和科技发展^[20]等阐述了城市群发展的动因。国内外城市群驱动力研究不仅涉及理论创新，还囊括了经济、社会、人口、环境、科技和政策等多个方面，为本文从多维视角分析驱动力奠定了坚实基础。目前，长株潭城市群发展驱动力分析中，主要是从乡村功能^[21]、湿地景观^[22]、植被变化^[23]、生态资产^[24]、耕地^[25]等单一视角切入，尚缺少从城市群多地类变动视角，未构建多维驱动指标体系，缺乏多城市交互作用分析。

鉴于此，本文立足新时代城市群高质量发展背景，考虑引入 3S 技术，尝试构建城市群多维驱动力分析体系，分析快速城市化的长株潭核心区土地利用时空格局，探究土地利用变化的驱动机制，探讨城市群中多城市间协同作用。这是对多维驱动力分析应用的拓展，是对长株潭城市群内三城市交互作用的初探，可为长株潭城市群国土空间战略规划和未来绿色城市发展边界划定提供理论支撑，为城市群驱动政策调整提供支持。

1 研究区概况

进入新世纪，长株潭一体化步伐加快，其中标志性的事件有：2000 年，湖南省出台《长株潭经济一体化“十五”规划》；2008 年，国务院批准《长株潭城市群资源节约型和环境友好型社会建设综合配套总体方案》与《长株潭城市群区域规划（2008—2020 年）》；2018 年，在长沙召开长株潭城市群一体化发展首次联席会议，并发布《长株潭城市群一体化发展行动计划（2018—2019 年）》。为此本文选定 2000、2008 和 2018 年作为长株潭核心区土地利用变化的关键时间节点。

长株潭核心区(1)位于湖南中东部，为湘中丘陵向洞庭湖平原过渡区，是长江中游城市群的核心组成部分，地处 112° 36' E~113° 16' E, 27° 36' N~28° 33' N。研究区内矮山、低岗、丘陵、冲积平原、水系交错，有湘江及其支流浏阳河、捞刀河、靳江河、洩水、涟水、涓水和渌水等。研究区内南部丘岗起伏、北部平缓开阔，总体地势低平，海拔 100m 以下面积占研究区的 88.72%。区域属于典型的亚热带季风湿润气候，年均降水约为 1400mm，年均气温为 16~18℃。本区土地面积接近 4600km²，包括长沙市辖区及长沙县 9 镇、湘潭市辖区及湘潭县易俗河一带、株洲市辖区和株洲县，是湖南省经济发展的核心增长极，也是湖南快速城镇化发展区，在中部地区乃至全国都具有十分重要的地位。

2 模型构建与数据处理

2.1 模型建立

Logistic 为研究二分类或多分类问题的通用方法^[26]。本文依据区域土地利用变化的实际情况，选用 Logistic 回归模型对长株潭核心区土地利用变化进行驱动力分析，回归模型构建如下：

$$p = \frac{e^{(\alpha + \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n)}}{1 + e^{(\alpha + \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n)}} \quad (1)$$

上式经 Logit 变换得：

$$\ln\left(\frac{p_i}{1-p_i}\right) = \alpha + \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots + \beta_n x_n \quad (2)$$

式中：p 为土地利用变化事件发生的概率； x_1 、 x_2 、 x_3 ... x_n 为 n 个自变量，即为土地利用变化各种驱动因子； α 为常数项； β_1 、 β_2 、 β_3 ... β_n 为回归系数。

本文采用 Wald 统计量进行回归系数假设检验，若概率 p 值小于给定的显著性水平 α ($\alpha=0.05$)，则零假设被拒绝，认为该回归系数与零有显著差异，应保留在方程中；反之，则从方程中删除^[27]。使用 Homsmer-Lemeshow 指标 (HL) 对 Logistic 回归方程拟合度进行检验，若 HL 指标统计显著说明模型拟合性较差；反之，认为模型拟合性较好^[3]。

2.2 变量选取

(1)因变量。根据 2000、2008 和 2018 年长株潭核心区土地利用类型分类结果，耕地、林地向建设用地转换最为显著，水体、草地面积变动不大。为此，本文仅研究耕地、林地、建设用地在 2000—2008、2008—2018 年两时段地类利用变化。

(2)自变量。根据长株潭核心区经济社会发展的现状以及借鉴前人研究成果^[16]，并考虑驱动因素的科学性、可得性及其与区域土地利用变化的相关性，从自然条件、区位交通、经济发展、政策导向、产业驱动和人口增长 6 维度 15 项指标进行分析，并建立 GIS 数据库。

2.3 数据来源

本文采用 2000、2008、2018 年美国地质调查局网站的 Landsat 数据，研究区内水系、交通图等来自湖南省自然资源厅 2007 年版湖南省 1：50000 矢量地图，DEM 数据来源于美国地质调查局网站的 ASTGTM2DEM 数据 (30m 分辨率)，社会经济数据来源于《湖南统计年鉴》和相关区县社会发展统计公报。

2.4 数据处理

(1)因变量数据处理。首先，利用 ENVI 以湖南省 1：50000 矢量图为底图对遥感影像进行辐射校正、几何校正；然后，分年对 6 景影像进行镶嵌、裁剪；接着，参考谷歌地图高分影像依托目视判断方法选取感兴趣点 (区域)，采用随机森林方法对影像进行土地利用分类，分为耕地、林地、草地、水体、建设用地等五类，并进行分类后处理及精度检验，得到 2000、2008 和 2018 年三期土地利用分类图 (图略)；最后，利用 ArcGIS 软件叠加分析 2000、2008 和 2018 年研究区土地利用分类图，形成 2000—2008 与 2008—2018 年耕地、林地、建设用地、水体和草地两期变化图，如图 1 所示；再重新编码，“1”为变化区域，“0”为未变化区域。

(2)自变量数据处理。自变量中，DEM 数据来源对 ASTGTM2DEM 数据进行处理和分类；距河流距离、距区县中心距离、距地市中心距离、距道路 (省道、国道、高速) 距离、距铁路距离等 5 个因子数据来源利用 ArcGIS 软件中直线距离分析工具对湖南省 1：50000 矢量地图中相关因子进行处理获得；其他 9 个因子的基础数据均来源于《湖南统计年鉴》和相关区县社会发展统计公报，然后利用 ArcGIS 软件中 AddJoins 工具将各指标数值赋值给相关研究区县。

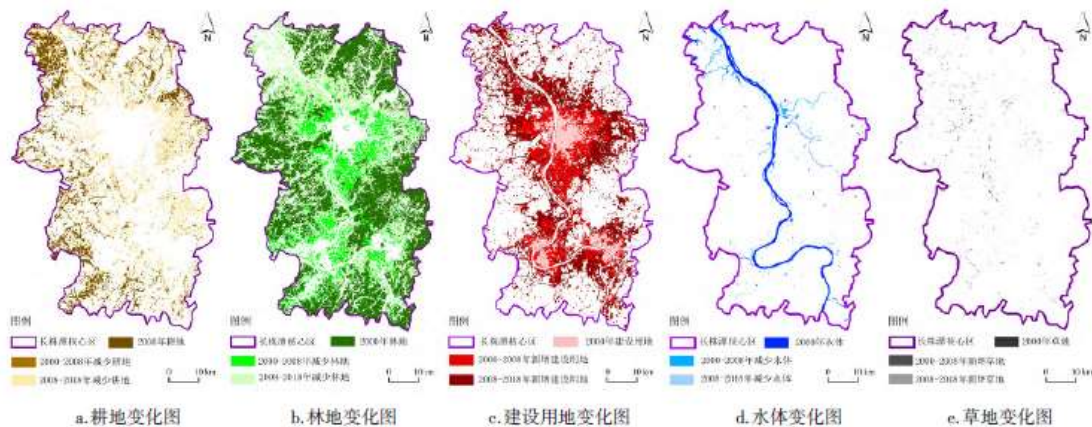


图1 耕地、林地、建设用地、水体和草地两期变化图

(3)其他相关处理。一是将所有数据转换为栅格数据、分辨率 $30\text{m} \times 30\text{m}$ 并配准到同一坐标系下；二是为保证 Logistic 回归模型抽样的样本量足够多，并避免数据空间相关性，因而采取随机分层均匀抽样 3000 个样本点，利用 ArcGIS 软件 Sample 工具提取各因子的值，并对所有因子数值进行归一化处理；三是利用 SPSS 软件采取自变量向后逐步选择法进行 Logistic 回归分析；四是采用方差膨胀因子 (VIF) 检验多重共线性，一般认为 $VIF < 10$ 时模型的多重共线性为可以接受的范围^[28]。具体处理过程如图 2 所示。

3 结果分析

3.1 土地利用变化系统分析

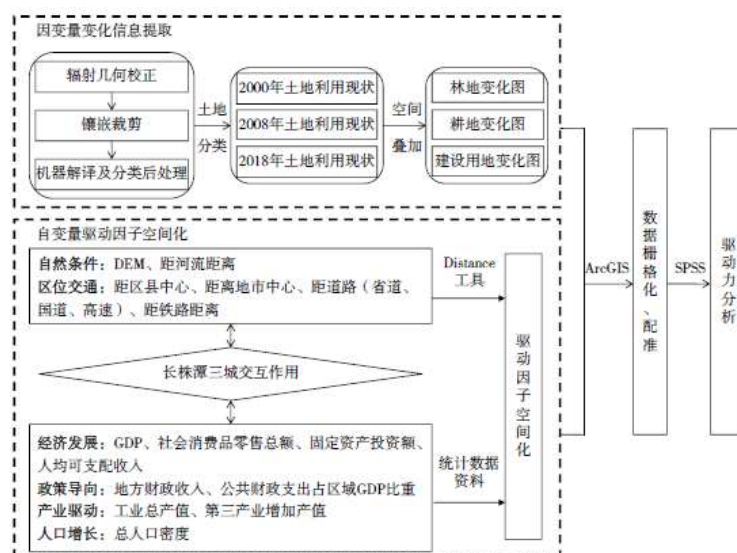


图2 Logistic 模型分析步骤

总体来看，2000—2018 年研究区内土地利用类型的变化幅度较大（图 1）。18 年间，耕地面积减少 324.96km^2 ，年减少 1.58%；林地面积减少 855.47km^2 ，年减少 1.64%；草地面积增加 26.17km^2 ，年增加 7.80%；水体面积减少 7.61km^2 ，年减少 0.22%；建设

用地面积增加 1161.87km²，年增加 18.64%。土地利用变化具体转移情况为：

(1)耕地转移空间分析。耕地转向林地区域主要发生在长沙县、开福区、株洲县、荷塘区和湘潭县等区域；耕地转向草地区域主要发生在沿湘江一带；耕地转向水体区域主要发生在望城区、株洲县、湘潭县及沿湘江一带；耕地转向建设用地区域主要发生在芙蓉区、雨花区、天心区、岳麓区、长沙县、天元区、雨湖区、岳塘区和湘潭县等区域。

(2)林地转移空间分析。林地转向耕地区域主要发生在长沙县、开福区、望城区、岳塘区、天元区、株洲县和湘潭县等区域；林地转向草地或水体区域较离散，没有显著空间特征；林地转向建设用地区域主要发生在长沙县、雨花区、开福区、岳麓区、望城区、天元区、芦淞区、岳塘区和湘潭县等区域。

(3)草地转移空间分析。草地转向其他土地利用类型区域较离散，没有显著空间特征。

(4)水体转移空间分析。水体转向耕地区域主要发生在望城区和长沙县；水体转向林地区域较少，且空间位置不明显；水体转向草地区域主要发生在望城区沿湘江一带；水体转向建设用地区域主要发生在开福区、天心区和芦淞区。

根据以上分析发现：18 年间研究区内耕地、林地和建设用地等三种地类变化面积较大，草地和水体面积总体面积和变化面积均较少，因此下文主要分析这三种地类变化的驱动机制。

3.2 驱动力多维分析

3.2.1 耕地变化驱动力分析

为保障耕地变化的 Logistic 回归模型正常使用，需就各自变量相对独立性进行判断。为此，先对各自变量进行多重共线性检验，经计算得出各自变量 VIF 值处在 1.01~8.57 内，变量间多重共线性属于合理范围，自变量均可进入回归模型；进而采用 SPSS 软件计算耕地变化回归模型。模型中，2000—2008 与 2008—2018 年两期 HL 值为 14.03 和 12.20，p 值为 0.09 和 0.16，统计均不显著，这说明回归模型拟合数据情况良好，预测可靠，模型合理可用。

驱动 2000—2008 年耕地变化的有自然环境维 DEM(x_1)、距河流距离(x_2)等 2 因子，区位交通维距区县中心距离(x_3)、距地市中心距离(x_4)、距铁路距离(x_6)等 3 因子，经济发展维 GDP(x_7)、社会消费品零售总额(x_8)、人均可支配收入(x_{10})等 3 因子，政策导向维地方财政收入(x_{11})、公共财政支出占区域 GDP 比重(x_{12})等 2 因子，产业驱动维工业总产值(x_{13})，人口增长维总人口密度(x_{15})等，共 12 个因子。驱动 2008—2018 年耕地变化的有自然环境维 DEM(x_1)、距河流距离(x_2)等 2 因子，区位交通维距区县中心距离(x_3)、距铁路距离(x_6)等 2 因子，经济发展维 GDP(x_7)、社会消费品零售总额(x_8)等 2 因子，政策导向维地方财政收入(x_{11})，产业驱动维工业总产值(x_{13})、第三产业增加值(x_{14})等 2 因子，人口增长维总人口密度(x_{15})等，共 10 个因子。经过对比两期驱动因子发现耕地变化的影响因素不完全一致，其中自然环境、人口增长影响基本相近，区位交通、经济发展、政策导向、产业驱动影响存在较大差异。

具体来讲，第 2 期区位交通维“距地市中心距离”不再是主要驱动因子，这表明耕地减少不再由距离中心城区距离决定，仍更多受“距区县中心距离”影响，这与长株潭城市群拓展由单点定向发展逐渐向多点全面拓展转变的实际相符；第 2 期经济发展维“人均可支配收入”不再是主要驱动因子，这表明人均可支配收入并不是耕地减少的内在驱动因素；第 2 期政策导向维“公共财政支出占区域 GDP 比重”不再是主要驱动因子，这也凸显了第 2 期政府执行了更加严格的耕地保护政策，政策导向方面并不支持耕地转化为建设用地；第 2 期产业驱动维“第三产业增加值”成为主要驱动因子，模型中回归系数为正，Wald 统计量为 56.73($p < 0.01$)，这表明城市建设用地很大一部分来源于耕地，且第三产业增加值增加越多耕地减少就越快，第三产业增加

$$\frac{1}{4.09} = 0.24$$

值每增加 1 万元，耕地变成建设用地等地类的概率约增加 0.24 倍（即 1 万元的发生概率为 $e^{1.41}=4.09$ ）。另外，距道路（省道、国道、高速）距离（ x_5 ）、固定资产投资额（ x_9 ）均未进入模型，这说明这两个因子对耕地变动影响不太直接。

3.2.2 林地变化驱动力分析

首先对各自变量进行多重共线性检验，经计算得各自变量 VIF 值处在 1.00~7.15 内，变量间多重共线性属于合理范围，自变量均可进入回归模型，进而采用 SPSS 软件计算林地变化回归模型。模型中，2000—2008 与 2008—2018 年两期 HL 值为 12.45 和 11.34，p 值为 0.14 和 0.19，统计均不显著，这说明回归模型拟合数据情况良好，预测可靠，模型合理可用。

驱动 2000—2008 年林地变化的有自然环境维 DEM(x_1)、距河流距离（ x_2 ）等 2 因子，区位交通维距区县中心距离（ x_3 ）、距地市中心距离（ x_4 ）、距道路（省道、国道、高速）距离（ x_5 ）、距铁路距离（ x_6 ）等 4 因子，经济发展维社会消费品零售总额（ x_8 ）、固定资产投资额（ x_9 ）、人均可支配收入（ x_{10} ）等 3 因子，政策导向维地方财政收入（ x_{11} ），产业驱动维工业总产值（ x_{13} ），人口增长维总人口密度（ x_{15} ）等，共 12 个因子。驱动 2008—2018 年耕地变化的有自然环境维 DEM(x_1)、距河流距离（ x_2 ）等 2 因子，区位交通维距区县中心距离（ x_3 ）、距地市中心距离（ x_4 ）、距道路（省道、国道、高速）距离（ x_5 ）、距铁路距离（ x_6 ）等 4 因子，经济发展维 GDP(x_7)、社会消费品零售总额（ x_8 ）、固定资产投资额（ x_9 ）等 3 因子，政策导向维地方财政收入（ x_{11} ），产业驱动维工业总产值（ x_{13} ）等，共 11 个因子。经过对比两期驱动因子发现林地变化中自然环境、区位交通两维度影响突出，政策导向、产业驱动维基本保持稳定，经济发展、人口增长等维度影响存在一定差异。

具体来讲，第 2 期经济发展维“人均可支配收入”不再是主要驱动因子，这表明人均可支配收入并不是耕地减少的内在驱动因素；GDP 成了主要驱动因子，模型中回归系数为正，Wald 统计量为 11.39 ($p < 0.01$)，这表明城市建设用地很大一部分来源于林地，且 GDP 值增加越多林地减少就越快，GDP 每增加 1 万元，林地变成建设用地等地类的概率约增加 0.52 倍（即 1 万元的发生概率为

$$e^{0.66} = 1.93, \frac{1}{1.93} =$$

0.52。第 2 期人口增长维“总人口密度”不再是主要驱动因子，这也反映出人口对林地变化影响越来越小。另外，公共财政支出占区域 GDP 比重（ x_{12} ）、第三产业增加值（ x_{14} ）未进入模型，说明这两个因子对林地变动影响不太直接。

3.2.3 建设用地变化驱动力分析

首先对各自变量进行多重共线性检验，经计算得各自变量 VIF 值处在 1.00~8.45 范围，变量间多重共线性属于合理范围，自变量均可进入回归模型，进而采用 SPSS 软件计算建设用地变化回归模型。模型中，2000—2008 与 2008—2018 年两期 HL 值为 12.37 和 13.14，p 值为 0.18 和 0.12，统计均不显著，这说明回归模型拟合数据情况良好，预测可靠，模型合理可用。

驱动 2000—2008 年建设用地变化的有自然环境维 DEM(x_1)、距河流距离（ x_2 ）等 2 因子，区位交通维距区县中心距离（ x_3 ）、距地市中心距离（ x_4 ）、距道路（省道、国道、高速）距离（ x_5 ）、距铁路距离（ x_6 ）等 4 因子，经济发展维社会消费品零售总额（ x_8 ）、固定资产投资额（ x_9 ）、人均可支配收入（ x_{10} ）等 3 因子，产业驱动维工业总产值（ x_{13} ）、第三产业增加值（ x_{14} ）等 2 因子，人口增长维总人口密度（ x_{15} ）等，共 12 个因子。驱动 2008—2018 年建设用地变化的有自然环境维 DEM(x_1)，区位交通维距区县中心距离（ x_3 ）、距地市中心距离（ x_4 ）等 2 因子，经济发展维 GDP(x_7)、社会消费品零售总额（ x_8 ）、人均可支配收入（ x_{10} ）等 3 因子，产业驱动维工业总产值（ x_{13} ）、第三产业增加值（ x_{14} ）等 2 因子，人口增长维总人口密度（ x_{15} ）等，共 9 个因子。经过对比两期驱动因子发现建设用地变化受自然环境、区位交通、经济发展影响较大，政策导向无明显影响，产业驱动和人口增长两个维度前后两期影响变动不大。

具体来讲，第 2 期自然环境维“距河流距离”、区位交通维“距道路（省道、国道、高速）距离、距铁路距离”不再是建设用地变化主要驱动因子，这说明建设用地变化受自然条件和区位位置影响越来越小；第 2 期经济发展维“固定资产投资额”不再是建设用地变化主要驱动因子，这说明建设用地变化逐渐摆脱了投资驱动；新增了“GDP”成为建设用地主要驱动因子，这说明 GDP 增长是建设用地扩张的重要因素。另外，地方财政收入（ x_{11} ）、公共财政支出占区域 GDP 比重（ x_{12} ）未进入模型，说明这两个因子对耕地变动影响不太直接。

3.3 城市间交互作用分析

经济引力模型在分析城市辐射、城市发展边界中被普遍运用^[12]，本文引入许学强^[29]的经济引力模型来分析长沙、株洲、湘潭三市在城市发展间的交互作用，并将城市间的交互作用强度加以量化，其公式如下：

$$I = \sqrt{\frac{P_1 P_2 G_1 G_2}{D^2}} \quad (3)$$

式中：I 为城市 1 和城市 2 之间交互作用强度； P_1 、 P_2 为城市 1 和城市 2 的人口数； G_1 、 G_2 为城市 1 和城市 2 的工业增加值；D 为城市 1 和城市 2 之间的距离。

在长株潭一体化发展过程中，城与城之间的交互作用越来越大，长沙对株洲和湘潭具有较强的牵引作用，株洲和湘潭也具有较大相互吸引力；2018 年长沙与湘潭两城之间的交互作用强度已大于长沙与株洲两城之间的交互作用强度；而且同期城市间的交互作用各自对区域内各种地类变化影响显著，特别是对建设用地的增长起到了加速作用。结合长沙、株洲、湘潭三城土地分类数据得，长沙、株洲、湘潭 2000—2008 年建设用地增长率分别为 8.75%、3.86%、4.78%，而到 2008—2018 年增长率为 9.51%、7.19%、7.90%，这基本上与城市间交互作用增加同步，而且三城之间建设用地增加速度趋于接近，这也说明交互作用有利于三城的均衡发展。

4 结论与讨论

本文基于 RS 与 GIS 技术，建立了 GIS-Logistic 回归模型，并以长株潭核心区为研究对象，采用 2000、2008、2018 年三期土地利用分类图，从自然环境、区位交通、经济发展、政策导向、产业驱动、人口增加和城市间交互作用等七个方面分析耕地、林地和建设用地变化的驱动机制，探究驱动三种地类变动的关键因子，得出如下结论：

(1) 2000—2018 年长株潭核心区耕地面积减少 324.96km²、年减少率 1.58%；林地面积减少 855.47km²、年减少率 1.64%；草地面积增加 26.17km²、年增加率 7.80%；水体面积减少 7.61km²、年减少率 0.22%；建设用地面积增加 1161.87km²、年增长率 18.64%。

(2) 2000—2008 与 2008—2018 年两个时期，耕地、林地与建设用地变化面积、速度均存在差异，其中耕地减少的面积（123.12km²、201.84km²）与年减少速度（-1.52%、-1.99%）持续扩大，林地减少的面积（299.54km²、555.93km²）与年减少速度（-1.44%、-2.14%）持续扩大，建设用地增加面积（455.09km²、706.78km²）与年增长率（7.10%、8.82%）保持快速增长，且耕地与林地减少的面积绝大部分转换成了建设用地。

(3) 自然环境（DEM、河流水系）是耕地、林地和建设用地变化的基础条件，从根本上决定着三种地类变化的空间形态；区位交通中公路、铁路等交通网络的延伸，扩大了三种地类变化的范围；经济发展、政策导向、产业发展、人口增长加快了三种地类变化的速度。

(4)城市交互作用强度有效反映了各种地类变化、特别是建设用地变化的趋势，城市交互作用强度是除六大维度外的第七大影响因素。

根据以上分析，本文展开以下讨论：

(1)GIS-Logistic 回归模型能够有效分析城市群土地利用变化的机理与规律，对其他城市建设或区域土地利用变化具有一定的借鉴意义，在城乡规划、土地资源管理以及可持续发展方面有很好的应用潜力。但考虑到数据的可得性，本文的土地利用变化驱动指标体系仍有改进空间，仅从自然环境、区位交通、经济发展、政策导向、产业驱动、人口增长等六大维度选取了 15 个指标，而对科学技术、人文教育和对外发展等指标尚未纳入；考虑计算的便捷性，对于经济社会因子数据空间化，也采用了相对简便处理方案即按区县划直接进行赋值，这与实际情况可能存在一定的出入，一定程度上会影响结果的精确性。

(2)城市群土地利用变化不但受自然与经济社会因素影响，还受城市与城市之间的交互作用影响。长株潭一体化发展既要强化长沙都市圈辐射带动作用，也要注重提升株洲、湘潭两城的经济发展水平和城市化进程；三城在一体化发展过程中，更应注重区内发展要素优化配置，加快构建城市群协商合作、规划协调、政策协同、社会参与等机制，凝神聚力推进城市群建设重点任务落地。破除发展壁垒，打通关键节点，改善交通，提升区域内通达性，实现均衡一体发展。

(3)城市群土地利用变化是一个复杂、多元和全方位的动态系统过程，本文仅分析了耕地、林地、草地、水体和建设用地的时空变化平面格局，并利用 GIS-Logistic 回归模型重点探讨了耕地、林地、建设用地变化的驱动机制，其理论的普适性和实践的推广性仍有待进一步检验。而且随着国家对国土空间规划的重视和人们追求更好人居环境体验的需求，今后应该进一步探索城市群平面发展开发边界、立体发展三维空间优化以及生态城市中耕地、林地、草地、水体与建设用地等地类的合理布局等。

(4)未来推动城市群高质量发展应以土地利用变化为抓手，统筹做好城市土地规划、功能分区、产业规划、人居服务和生态系统格局优化，鼓励盘活存量建设用地、稳步减少新增建设用地规模，完善土地管理体制，避免快速土地城镇化造成的用地浪费，规避快速土地城镇化的负面影响，促进城市功能互补、产业错位布局和特色化发展；完善城市群公路和城际铁路网络规划建设，加强城市与城市之间交通、通信、环保、防震减灾等设施共建共享，提高城市群应对洪水、地震、突发公共卫生事件等急性冲击与雾霾、交通拥堵和人口剧增等慢性扰动能力；推动创新链和产业链融合发展，鼓励长株潭城市群建立联合招商、共同开发、利税共享的产业合作发展机制；推动城市群生态环境协同共治、源头防治为重点，强化生态网络共建和环境联防联控，在一体化发展中实现生态环境质量同步提升，共建绿色、生态、韧性、幸福城市群。

参考文献：

- [1]何志超,赵春红,李国煜,等.从空间规划到土地利用变化——差异、现状、挑战和未来方向[J].城市规划,2020,44(10):9-16.
- [2]张佰发,苗长虹.黄河流域土地利用时空格局演变及驱动力[J].资源科学,2020,42(3):460-473.
- [3]徐谅慧,杨磊,李加林,等.基于 GIS-Logistic 耦合模型的杭州湾南岸景观演变驱动力分析[J].应用海洋学学报,2016,35(1):75-86.
- [4]李孝永,匡文慧.京津冀 1980—2015 年城市土地利用变化时空轨迹及未来情景模拟[J].经济地理,2019,39(3):187-194,200.
- [5]杨建新,龚健,高静,等.国家中心城市土地利用变化稳定性和系统性特征——以武汉市为例[J].资源科学,2019,41(4):

701-716.

[6]付丽娜,陈晓红,冷智花.基于超效率DEA模型的城市群生态效率研究——以长株潭“3+5”城市群为例[J].中国人口·资源与环境,2013,23(4):169-175.

[7]何建华,王宵君,杜超,等.武汉城市圈土地利用变化系统仿真模拟与驱动力分析[J].长江流域资源与环境,2015,24(8):1270-1278.

[8]Weber A.Theory of the Location of Industries[J].Nature,1960,15(1):1.

[9]Gottmann J.Megalopolis or the urbanization of the Northeastern seaboard[J].Economic Geography,1957,33(3),189-200.

[10]Krugman P.Urban concentration:the role of increasing returns and transport costs[J].International Regional Science Review,1996,19(1-2):5-30.

[11]Hershberg T.Regional cooperation:strategies and incentives for global competitiveness and urban reform[J].National Civic Review,1996,85(2):25-30.

[12]Baruch A K.Dynamics and potentials of Israel's megalopolitan processes[J].Urban Studies,1997,34(3):489-501.

[13]Portnov B A.The effect of housing construction on population migrations in Israel[J].Journal of Ethnic and Migration Studies,1998,24(3):541-558.

[14]Boddy M.Technology, innovation, and regional economic development in the state of Victoria[J].Environment and Planning C:Government and Policy,2000,18(3):301-319.

[15]Ascione M,Campanella L,Cherubini F.Environmental driving forces of urban growth and development[J].Landscape and Urban Planning,2009,93(3-4):238-249.

[16]姚士谋,吴楚材,徐桂卿.现代城市发展若干问题的探讨[J].地理科学,1982(2):179-187.

[17]姚士谋.我国城市群的特征、类型与空间布局[J].城市问题,1992(1):10-15,66.

[18]郗凤明,贺红士,胡远满,等.辽宁中部城市群城市增长时空格局及其驱动力[J].应用生态学报,2010,21(3):707-713.

[19]朱磊,岳嘉琛,陈诗音,等.1992—2016年京津冀城市群城市扩展过程和驱动分析[J].北京师范大学学报:自然科学版,2019,55(2):291-298.

[20]董会忠,李旋,张仁杰.粤港澳大湾区绿色创新效率时空特征及驱动因素分析[J].经济地理,2021,41(5):134-143.

[21]谭雪兰,欧阳巧玲,安悦,等.长株潭城市群地区乡村功能的动态演变及驱动机制(英文)[J].Journal of Geographical

Sciences, 2019, 29 (8) :1381-1395.

[22]张猛, 曾永年. 长株潭城市群湿地景观时空动态变化及驱动力分析[J]. 农业工程学报, 2018, 34(1):241-249.

[23]胡顺石, 彭雨龙, 秦建新, 等. 长株潭城市群植被指数动态变化及城市扩展对其影响分析[J]. 经济地理, 2019, 39(12): 178-186.

[24]李毅, 杨仁斌, 毕军平, 等. 长株潭地区生态资产变化格局分析[J]. 经济地理, 2015, 35(2):184-188, 208.

[25]邓楚雄, 李晓青, 向云波, 等. 长株潭城市群地区耕地数量时空变化及其驱动力分析[J]. 经济地理, 2013, 33(6):142-147.

[26]陈彦光. 人口与资源预测中 Logistic 模型承载力参数的自回归估计[J]. 自然资源学报, 2009, 24(6):1105-1114.

[27]孙才志, 闫晓露. 基于 GIS-Logistic 耦合模型的下辽河平原景观格局变化驱动机制分析[J]. 生态学报, 2014, 34(24): 7280-7292.

[28]李毅. 长株潭核心区土地利用变化及其生态环境效应研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2015.

[29]许学强, 周一星, 宁越敏. 城市地理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003.

注释:

1 2005 年 8 月, 湖南省政府颁布了《长株潭城市群区域规划》, 该规划首次明确长株潭城市群核心区。