

基于城市中心划分视角的人口 - 土地异速生长与经济发展研究：以广西壮族自治区为例

隋丽丽, 牛方萍

北方工业大学理学院, 北京

收稿日期：2024年12月22日；录用日期：2025年1月15日；发布日期：2025年1月24日

摘要

随着全球城市化进程的加快，城市的发展已经成为一个多维复杂的议题。本研究以广西壮族自治区为例，基于城市中心划分视角，探讨了人口 - 土地异速生长与经济发展之间的联系。通过引入分形几何理论，量化城市形态的复杂性，并结合异速生长概念，分析了城市不同领域发展过程中的不均匀性。研究采用盒维数法和多径向分析法计算局部分形维数，并利用熵权法构建经济集聚指数，以评估城市经济的集聚效应。研究发现，桂林市在2014~2022年之间的局部分形维数在0~1.7之间，将其划分为四个阶段，反映城市化的不同进度。通过构建经济集聚指数与局部分形维数的模型，得出它们之间存在强烈的正相关性，表明城市结构的优化能够促进经济活动的集中程度。此外，广西各市的异速生长指数揭示了人口增长与土地扩张之间的非均匀性，对城市政策制定和规划具有重要意义。本研究为优化城市规划和实现区域协调发展提供了有价值的参考，能够更好地了解城市经济活动的分布特点，以及如何通过优化城市结构促进经济的均衡发展。

关键词

局部分形维数, 异速生长, 经济集聚指数

Research on Population-Land Allometric Growth and Economic Development from the Perspective of Urban Centralization: A Case Study of Guangxi Zhuang Autonomous Region

Lili Sui, Fangping Niu

College of Science, North China University of Technology, Beijing

Received: Dec. 22nd, 2024; accepted: Jan. 15th, 2025; published: Jan. 24th, 2025

Abstract

With the acceleration of global urbanization, urban development has become a multi-dimensional and complex issue. This study, taking Guangxi Zhuang Autonomous Region as an example, explores the connection between population-land allometric growth and economic development from the perspective of urban centralization. By introducing fractal geometry theory, we quantify the complexity of urban morphology and analyze the unevenness in various development sectors of the city through the concept of allometric growth. The study employs box-counting dimension methods and multi-radial analysis to calculate local fractal dimensions, and utilizes the entropy weight method to construct an economic agglomeration index to assess the agglomeration effects of urban economies. The research finds that the local fractal dimension of Guilin City ranges between 0 and 1.7 from 2014 to 2022, dividing it into four stages that reflect different levels of urbanization. By constructing a model of the economic agglomeration index and local fractal dimension, a strong positive correlation between the two is revealed, indicating that the optimization of urban structure can promote the concentration of economic activities. Moreover, the allometric growth indices of various cities in Guangxi unveil the unevenness between population growth and land expansion, which holds significant implications for urban policy making and planning. This study provides valuable references for optimizing urban planning and achieving coordinated regional development, contributing to a better understanding of the distribution characteristics of urban economic activities and how optimizing urban structures can promote balanced economic growth.

Keywords

Local Fractal Dimension, Allometric Growth, Economic Agglomeration Index

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着全球城市化程度的加深，城市发展日益成为一个复杂且多维的议题。在城市化进程中，许多城市面临环境退化、基础设施压力和社会不平等等一系列问题，这些问题的解决需要科学和精准的城市规划方法，以实现可持续性发展和区域间的协调进步[1]。在此背景下，分形几何作为一种新的数学理论，为我们提供了一种描述和分析城市形态及其发展模式的工具[2]。分形几何侧重于描述自然界中存在的复杂、不规则的形状及模式，其核心特征为自相似性[3]，即在不同尺度下的结构呈现出相似的形状和模式。在城市发展的多层次、多维度的动态特征中，通过量化城市形态的复杂性，分形理论帮助规划者识别和预测城市发展的趋势，不仅对城市的空间发展结构进行定量分析，还涉及到交通网络、城市功能和道路结构的多维度分析，揭示不同区域间的相互关系和发展规律[4]，有助于研究城市空间结构的复杂性，为制定更好的城市政策提供了理论基础。此外，异速生长概念的引入，进一步丰富了对城市发展动态的研究。异速生长，最早在生物学领域用来描述生物体或其组成部分在生长过程中的速率不一致性，表现出不同的生长动态[5][6]。这一现象不仅体现了生物体适应环境的复杂性，还反映了在资源有限的情况下，生物体如何优化自身的生长模式[7]。当这一概念被应用于城市研究时[8]，它揭示了城市不同领域在发展过程中的不均匀性。这种非均匀性不仅体现了城市对环境变化的适应，也反映了在资源有限的情况下，城市如何通过优化配置来实现城市经济发展与扩张。

在城市的整体发展中, 城市中心作为经济、文化和政治活动的聚集地, 其繁荣程度不仅影响城市的整体形象和竞争力, 还对城市的资源分配和功能布局产生深远的影响[9]。因此, 在现代城市规划中, 合理划分和优化城市中心与次中心的结构已成为一个关键任务。通过深入分析城市中心, 有助于识别经济活动的聚焦模式, 还能为提升城市吸引力和实现可持续发展提供理论支持。

本文旨在结合异速生长理论与分形几何, 深入探讨广西壮族自治区的城市空间结构。通过对当前我国经济发展状况的分析, 对现有计算经济集聚指数的方法进行调整, 纳入数字化程度这一关键指标, 以更准确地反映当前城市经济活动的动态变化。这一调整不仅增强了对经济集聚现象的细致分析, 还为理解城市经济活动的分布与变化提供了新的视角。此外, 本文将经济集聚指数与城市中心的划分相结合, 构建了两者之间的关系模型, 通过这一模型, 我们希望揭示城市发展各区域之间的相互作用, 探讨经济集聚指数度对城市中心的影响, 以及它们共同对城市经济发展的长远影响。通过这些分析, 本研究旨在为优化城市规划和实现区域协调发展提供有价值的参考, 帮助决策者更好地了解城市经济活动的分布特点, 以及如何通过优化城市来促进经济的均衡发展。

2. 研究方法

2.1. 分形分析方法

2.1.1. 盒维数法

盒维数法是分形几何中一种应用广泛的分形维数计算方法[10], 通过测量不同尺度下覆盖目标对象所需的最小盒子数量来估计其维数, 能够量化复杂系统的空间填充效率和结构复杂性。其计算公式为:

$$D = \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{\log(N_\delta)}{\log\left(\frac{1}{\delta}\right)}$$

其中, D 为盒维数, N_δ 为对应盒子尺寸为 δ 时覆盖目标对象所需的最小盒子数量。在实际应用中, 通常通过对数 - 对数图(log-log)的线性拟合来求解盒维数 D 。盒维数法广泛应用于物理学、地理学、生物学和计算机科学等多个领域, 为探究自然界和社会现象中的深层次规律提供了强有力数学工具。

2.1.2. 多径向分析

多径向分析作为径向分析的深化与扩展, 不仅能够计算复杂形态(如城市景观、自然地貌等)的分形维数, 还能挖掘空间组织的深层信息。该方法以每一个选定的像素点为中心, 围绕这些点绘制具有不同半径 r 的圆形区域, 并记录每个圆形区域内的点数 N 。随着半径 r 的变化, 点数 N 也会发生动态变化, 从而形成一系列 (r, N) 的数值对[11]。通过这些数据进行类似于盒维数法的拟合分析, 便可以计算出多径向分形维数的具体数值, 直观地反映所选像素点在特定空间尺度范围内的复杂性和不规则度。这一分析不仅深化了对城市的发展内在规律及空间分布层级结构的理解, 还为城市中心划分、规划和景观设计提供了科学的数据支持与决策依据。

2.2. 异速增长

异速生长现象是指某一变量随另一变量的变化遵循幂次规律, 并且该幂指数明显不为 1, 表明增长速率并不是保持恒定比例。这一普遍存在于自然界的现像, 横跨细胞微生物层面到生物体宏观层面, 乃至延伸至复杂的社会系统等多个维度[12]。其基本表达公式为:

$$Y = aX^b$$

其中, Y 代表某一特定的变量, 如生物体内某一器官的大小、代谢速率等关键生理指标, X 则代表另一相

关联的变量, 如生物体的身高、体重等体态特征。 a 是常数项, b 即异速生长指数, 是揭示两个变量间非比例增长关系的核心参数, 其值不等于 1。

2.3. 城市中心划分

2.3.1. 图像分类

图像分类是遥感图像分析中的一项关键技术, 能够有效识别和量化多种土地覆盖数据, 如城市建成区、绿地和水体等。该方法首先对遥感图像进行辐射校正和几何校正, 以确保数据的准确性和一致性。在特征提取阶段, 通过分析像素的光谱特征和纹理特征, 构建用于区分不同土地覆盖类型的有效基础。随后, 选用合适的分类模型, 如随机森林分类器, 在训练样本上进行模型训练与验证, 能够灵活应对不同的研究区域。最后, 借助混淆矩阵和 kappa 系数等精度评估指标, 确保分类结果的可靠性[13]。该方法不仅提升了对土地覆盖变化的理解, 还为城市发展、环境监测及土地管理提供了强有力的数据支撑与决策依据。

2.3.2. 数学形态学

数学形态学作为一种基于几何和拓扑学原理的图像分析方法, 为图像处理提供了一套强有力的操作工具, 包括腐蚀、膨胀、开运算、闭运算等。这些操作通过对图形特征和结构的分析与处理, 能够有效的提取和增强图像特征。具体来说, 腐蚀和膨胀操作作用于消除噪声和填补图像中的空洞, 而开运算和闭运算可实现图像边界的平滑以及相邻对象的连接。通过这些形态学操作, 研究者能够量化和分析图像的空间复杂性, 消除图片中的干扰信息[14], 揭示隐藏在图像数据背后的结构信息, 从而为相关领域的研究提供重要的理论支持与方法论基础。

2.4. 经济集聚指数构建

2.4.1. 熵权法

熵权法是一种广泛应用于综合评价领域的指标体系评价方法, 特别适用于人口城市化质量的评价。应用该方法时首先需要系统性地收集与被评价对象相关的统计数据, 将这些数据构建为原始指标数据矩阵。数据收集完成后, 进行指标熵值的计算, 分析原始数据以获得各个指标的熵值和熵冗余度, 这一步骤目的是合理分配各指标在综合评价中的权重, 确保评价结果的客观性和科学性。完成权重分配后, 便可以计算各个指标的得分, 并利用线性加权求和的方法得到最终的评价指标得分[15]。具体公式为:

(1) 构建原始矩阵 R_x , 假设有 m 个评价对象, n 个评价指标, 则 x_{ij} 为第 i 个评价对象的第 j 个指标 (其中 $i=1,2,\dots,n$, $j=1,2,\dots,n$)

$$R_x = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{pmatrix}$$

(2) 对原始数据进行标准化处理, 针对不同属性有不同的处理方法, 并适度化处理, 进行非零平移正向指标:

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} + 0.001$$

负向指标:

$$y_{ij} = \frac{\max x_{ij} - x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} + 0.001$$

(3) 计算各指标权重 w_j

首先, 计算每项 y_{ij} 所占比重 P_{ij} :

$$P_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sum_{j=1}^m y_{ij}}$$

其次, 计算第 n 项指标的熵值:

$$e_j = -\frac{1}{\ln n} \left(\sum_{i=1}^m P_{ij} * \ln P_{ij} \right)$$

最后得到第 n 项指标的权重:

$$w_j = \frac{1-e_j}{\sum_{j=1}^n (1-e_j)}$$

通过以上步骤, 熵权法能够有效反映人口城市化质量, 为政策制定和实施提供科学依据。

2.4.2. 皮埃尔相关性分析

皮埃尔相关性分析是一种统计方法, 它利用皮埃尔相关系数来衡量两个变量之间的线性相关程度, 广泛应用于社会科学、经济学、生态学等多个领域。该系数的计算公式为[16]:

$$Q_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

其中, X_i 和 Y_i 分别代表两个变量的第 i 个观测值, \bar{X} 和 \bar{Y} 分别表示这两个变量的均值。皮埃尔相关系数 Q_{xy} 的取值范围介于 -1 与 1 之间, 其值的大小和符号直接反映了两个变量之间的线性关联程度和方向。当 Q_{xy} 接近 1 时, 表示两个变量之间存在强烈的正相关关系, 当 Q_{xy} 接近 -1 时, 表示两个变量之间存在强烈的负相关关系, 而当 Q_{xy} 接近 0 时, 则表明两个变量之间几乎没有线性关系。

3. 数据及数据预处理

3.1. 数据来源及研究对象

本文选取的研究对象是广西壮族自治区, 作为一个南方城市, 广西具有独特的地理和生态环境, 这使其在区域发展研究中具有显著的代表性。广西的经济发展水平、城市化进程以及土地利用变化, 不仅反映了中国南部地区的发展特点, 而且为研究人口 - 土地异速生长与经济发展之间的关系提供了丰富的案例。此外, 广西在国家西部大开发战略中占据重要地位, 享有国家和地方政策的双重支持, 这为研究提供了政策背景和实践案例, 增加了研究的现实意义和应用价值。

广西壮族自治区的数据可获取性较高, 相关的统计数据和遥感内容相对容易获取, 为进行经济研究与中心划分提供了坚实的数据基础, 且针对广西的城市中心划分视角下的人口 - 土地异速生长与经济发展关系的研究相对较少。本文旨在通过改进传统的经济集聚指数计算方法, 深入分析广西的城市中心划分和城市群发展模式, 探讨其对区域经济增长和土地利用的影响, 为制定区域可持续发展策略提供理论依据。

本文选取的数据来自广西统计年鉴[17]-[26]和北京大学数字普惠金融指数[27]。广西统计年鉴提供了广西地区的经济、社会、人口等方面的数据，反映了该地区每年的发展状况。北京大学数字普惠金融指数是由北京大学数字金融研究中心和蚂蚁科技集团研究院组成的联合课题组负责编制的，涵盖了关于数字金融发展的多维度数据，旨在评估数字金融对社会经济的影响。除了上述数据，本文还采用了由 Yang 和 Huang (2023) 提供的 30 米分辨率的年度土地覆盖数据集[28]。这些数据的选取为本文的研究提供了坚实的基础。

3.2. 数据预处理步骤

首先，从广西统计年鉴中收集了 2014~2022 年地区生产总值、第一产业增加值、第二产业增加值、第三产业增加值、社会消费品零售总额、农村居民人均可支配收入和城镇居民人均可支配收入，从北京大学数字普惠金融指数中对比选择，确定将数字化程度加入分析，收集其数据，按照一年一城市的格式进行整理，确保数据的有效性和实用性。其次，对收集到的数据进行清洗，检查并处理缺失值和异常值，保证数据的完整性和准确性。最后将数据按照需求进行整理，并进行标准化处理，以消除不同量纲和单位的影响，使数据用于后续的统计分析及模型构建。

对于遥感图像进行土地类型重分类，用 ArcGis 进行包括辐射校正和几何校正的预处理，然后根据研究需求，将土地覆盖类型重分类为建成区、过渡区、绿地和水体四类。广西 2014 与 2022 年的分类图如图 1、图 2：

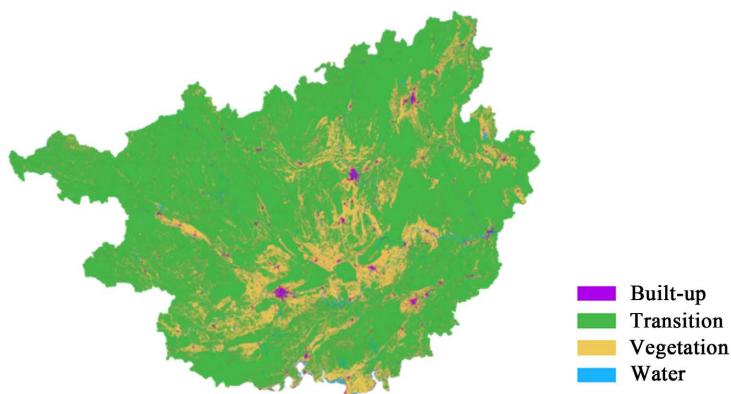


Figure 1. Guangxi land classification in 2014
图 1. 2014 年广西土地分类

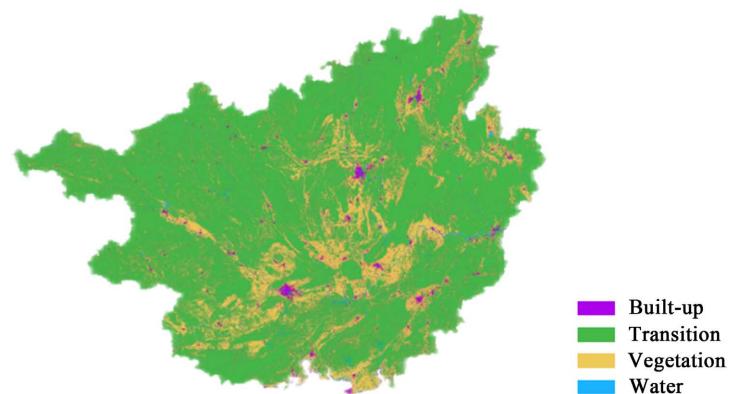


Figure 2. Guangxi land classification in 2022
图 2. 2022 年广西土地分类

4. 实证分析

4.1. 异速生长

4.1.1. 横向异速生长

首先对 2014 到 2022 年间广西壮族自治区 14 个市的异速生长变化进行横向分析, 得到其异速生长指数 b 的范围从 0.7159 到 1.1127, 如表 1 所示。通常情况下, 当 b 值等于 1 的时候, 表示等异速生长; 当 b 值大于 1 时, 表示正异速生长, 即人口增速小于城市建成区扩张速度; 当 b 值小于 1 时, 表明人口增速快于城市建成区增长, 称为负异速增长。根据表格里的部分数据, 大部分的市呈负异速生长, 只有少部分年份有的城市是正异速生长的, 例如, 桂林市在 2022 年和河池市在 2017 年的异速生长指数均为正, 其中 2017 年河池市的 b 值明显高于前后年份, 表明该年该市的人口增长相对于城区面积扩张的速度较快, 这可能与当年发布的新政策有关。

从整个时间跨度上看, 部分城市的 b 值是随时间增加的, 如贺州市、河池市等, 表明人口增长相对于土地扩展的速度较快, 并且逐年上升; 而一些城市的 b 值随时间减少, 比如南宁市、柳州市、桂林市, 意味着这些城市在相应年份里土地扩张的速度超过了人口增长的速度。总体来看, 广西多数城市的异速生长指数在 2014 至 2022 年间呈现下降趋势, 显示出人口外流现象或土地扩张速度与人口增长之间的线性关系显著。

此外, 河池市在 2017 年之前出台了《河池市加强人才工作的若干规定(修订)》的通知, 这是一项与人才引进相关的政策, 表明河池市在积极采取措施以加强人才工作, 根据城区人口与建成区面积的异速生长指数变化, 可以合理推测, 该政策可能对河池市的人口流动产生了一定影响。

Table 1. Changes in allometric growth index in some cities of Guangxi from 2014 to 2022

表 1. 广西部分市 2014~2022 年异速生长指数变化

	南宁市	柳州市	桂林市	钦州市	贺州市	河池市
2022	0.9163	0.8833	0.9453	0.7837	0.7799	0.9030
2021	0.9636	0.8813	0.9337	0.7809	0.7747	0.9158
2020	0.9555	0.8887	0.9314	0.7775	0.7737	0.9186
2019	0.9513	0.8891	0.9288	0.774	0.7709	0.9223
2018	0.9463	0.8912	0.9511	0.7705	0.7603	0.9181
2017	0.9451	0.8916	0.9607	0.7762	0.8608	1.1127
2016	0.9436	0.9055	0.9647	0.7755	0.9037	0.9595
2015	0.9432	0.9054	0.9691	0.7773	0.8986	0.9586
2014	0.9393	0.9077	1.0148	0.7159	0.8723	0.9570

4.1.2. 纵向异速生长

通过对 2014 到 2022 年广西各市异速生长情况的分析如图 3, 可以看出南宁市和桂林市在这整个时间段内都表现出较强的城区面积扩张能力, 导致人口密度相应增加, 这可能表明这两个城市仍处于城市化进程的初期阶段, 城区土地扩展速度快于人口增长。

在这些城市中, 桂林市、梧州市和玉林市的异速生长指数相对较高, 表明它们在维持人口密度方面表现出色, 经济活动可能集中, 城市化进程相对比较成功。例如, 玉林市在该时间段内工业经济快速增长, 特别是机械制造业、新材料产业等, 这些产业的发展可能推动了城市规模的扩张, 此外, 其产业结构经历了从农业社会到工业和服务业共同推动产业发展的转变, 这种产业结构的优化升级也可能促进城市的异速生长。相比之下, 北海市、钦州市、贺州市的异速生长指数较低, 在这些城市的城市规划和产业布局方面需加以关注。例如, 贺州市常住人口城镇化率在全区处于较低水平, 其可能与人口增长缓慢有关, 导致城市扩张速度减慢, 影响异速生长指数。在 2016 年贺州市出现了人口净流出现象, 更加减缓了人口增长速度, 甚至出现负增长, 从而影响异速生长指数。

广西各市异速生长情况的多样性反映了区域经济发展的不均衡性, 人口增长速度和城镇化率的差异性。人口流出和资源枯竭会对城市发展构成挑战, 人口流入和城市扩张会推动城市的发展。同时, 产业结构的多样性和成熟度也会影响城市的增长动力, 单一产业依赖可能导致城市经济波动时增长放缓。多种因素共同作用, 相互影响, 形成了广西各城市独特的发展轨迹。

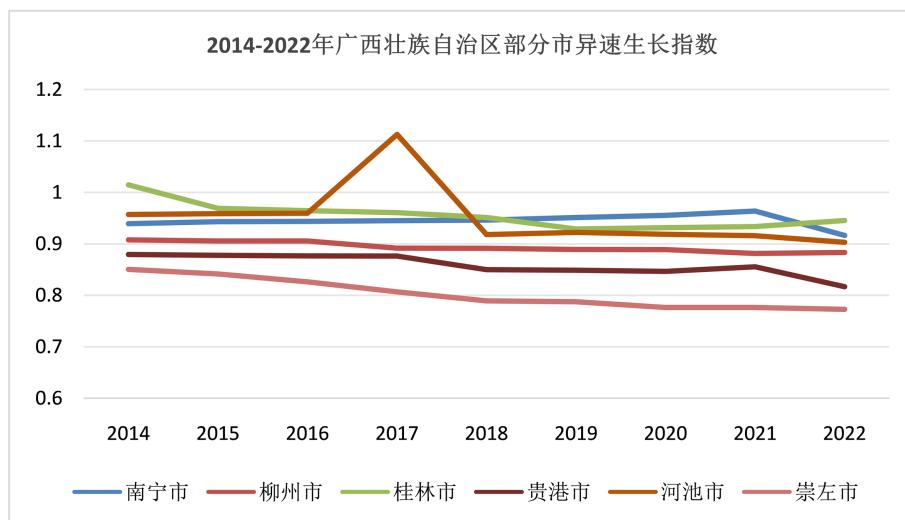


Figure 3. Changes in allometric growth index in some cities of Guangxi from 2014 to 2022

图 3. 2014~2022 年广西部分市异速生长指数变化

4.2. 经济集聚效应

4.2.1. 区域经济差异分析

选取 2014~2022 年广西壮族自治区 14 个市的城镇居民人均可支配收入、农村人口可支配收入居民、地区生产总值、社会消费品零售总额、数字化程度等作为计算经济集聚指数的数据。假定各个指标对经济集聚指数的总贡献率为 100%, 运用熵权法, 首先确定各个指标的熵值, 进一步计算权重, 最后通过线性加权计得出经济集聚指数, 多维指标权重与熵冗余分析表见表 2。

经济集聚指数是衡量一个地区的经济活动集中程度的指标, 指数越高表示经济活动越集中。选择城镇居民人均可支配收入、农村人口可支配收入居民、地区生产总值、社会消费品零售总额以及数字化程度作为计算经济集聚指数的变量来衡量一个地区经济状况的重要经济指标, 这些变量不仅涵盖了经济活动的多个方面, 如生产、收入、消费等, 还包含了近年来发展迅速并对经济活动影响逐渐扩大的数字化程度, 能够全面反映一个地区的经济状况及其集中程度。

具体来说, 人均可支配收入可以反映城镇及农村的平均收入水平, 是衡量经济发展和居民福利的关

键指标, 地区生产总值可以反映地区的经济规模和经济增长速度, 是评估经济状况常用的指标, 社会消费品零售总额可能反映居民的消费能力和消费结构, 对经济趋势有预示作用。相较于传统的指标选取, 本文增加了数字化程度这一指标, 是因为其在现代经济发展中扮演着日益重要的角色, 特别是在推动效率提升与创新驱动方面。它不仅包括互联网的普及率、数字基础设施的建设、电子商务的发展等, 还反映了企业和社会在数字化转型中的发展水平。数字化程度能够影响现代的生产方式、商业模式以及消费习惯, 从而在多个层面上推动经济活动的集中化, 顺应现代化的趋势。

Table 2. Analysis of the weights and entropy redundancy of economic multi-dimensional indicators in Guangxi Zhuang Autonomous Region

表 2. 广西壮族自治区经济多维指标权重与熵冗余分析表

评价内容	指标选取	熵值	冗余度	权重
经济总量与结构	地区生产总值	0.9213	0.0787	0.1618
	第一产业增加值	0.9516	0.0484	0.0995
	第二产业增加值	0.9200	0.0800	0.1645
	第三产业增加值	0.9076	0.0924	0.1899
收入水平	农村居民人均可支配收入	0.8870	0.1130	0.2322
	城镇居民人均可支配收入	0.9710	0.0290	0.0595
消费能力	社会消费品零售总额	0.9711	0.0289	0.0595
数字化应用与影响	数字化程度	0.9840	0.0160	0.0330

为了衡量经济集聚指数, 本研究使用了熵权法来客观确定各评价指标的权重。该方法通过计算各指标的熵值, 有效地降低了主观判断对权重分配的影响, 从而增强了评价过程的客观性。熵权法对于数据的离散程度具有较高的敏感性, 能够充分挖掘并利用数据中的信息, 准确反映各指标在综合评价体系中的相对重要程度。此外, 熵权法允许权重随数据变化而动态调整, 确保评价结果能够紧密跟随实际数据的变化, 提高评价结果的真实性和精确度, 这种方法更适用于处理涉及大量复杂数据的多指标评价综合问题, 为评价指标的科学性和评价结果的可靠性提供了有力保障。

从整体上看, 广西各市的经济集聚指数如表 3 所示, 在 2014 至 2022 年间普遍呈上升趋势, 表明经济活动在各市逐渐集中, 南宁作为省会城市, 经济集聚效应最为明显, 而河池市和贺州市虽然也增长迅速, 但是经济集中度仍然较低。

4.2.2. 异速增长的经济集聚效应

为了衡量人口 - 土地异速生长的经济集聚效应, 将异速生长分为两大类: 正异速生长和负异速生长。进而, 这两大类又被细分为三个小类, 即正异速 I、正异速 II 和正异速 III, 以及负异速 I、负异速 II 和负异速 III。

相较于 b 值大于 1 时的正异速生长和 b 值小于 1 时的负异速增长, 这里将异速生长指数 b 在 $2/3$ 和 1 之间, 且其平均值接近 0.85 时, 视为等速增长, 人口增长和土地增长基本协调, 若 b 的值大于 0.85, 则表现为正异速生长态势, 此时人口增长率低于土地增长率, 若 b 的值小于 0.85, 则表明呈现负异速生长态势, 此时人口增长率相比于土地增长率而言较低。

Table 3. Economic agglomeration index of some cities in Guangxi Zhuang Autonomous Region from 2014 to 2022
表 3. 2014~2022 年广西壮族自治区市部分市经济集聚指数

经济集聚指数	2022	2021	2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014
南宁市	0.8916	0.8755	0.7924	0.8198	0.7029	0.6643	0.5930	0.5725	0.5000
柳州市	0.5757	0.5613	0.5620	0.5579	0.5292	0.4857	0.4368	0.3735	0.3316
桂林市	0.4867	0.4580	0.4132	0.4101	0.3869	0.3642	0.3603	0.3262	0.2808
钦州市	0.3629	0.3182	0.2593	0.2685	0.2365	0.2304	0.1865	0.1498	0.1074
贺州市	0.2019	0.1838	0.1464	0.1317	0.1101	0.0845	0.0728	0.0522	0.0400
河池市	0.2112	0.1891	0.1561	0.1421	0.1236	0.0941	0.0754	0.0666	0.0389

正异速 I 表示土地的相对增长率略高于人口的相对增长率，两者基本协调，正异速 II 表示土地的相对增长率高于人口的相对增长率，但差距不大，正异速 III 表示土地的相对增长率远高于人口的相对增长率；负异速 I 表示人口的相对增长率略高于土地的相对增长率，负异速 II 表示人口的相对增长率远高于土地的相对增长率，负异速 III 表示人口或土地出现减少。那么，对于各市的异速类型分类如表 4。

Table 4. Allometric growth types in some cities of Guangxi
表 4. 广西部分市的异速生长类型

	南宁市	柳州市	桂林市	钦州市	河池市
2022	正异速 I	正异速 I	正异速 I	负异速 I	正异速 I
2021	正异速 I	正异速 I	正异速 I	负异速 I	正异速 I
2020	正异速 I	正异速 I	正异速 I	负异速 I	正异速 I
2019	正异速 I	正异速 I	正异速 I	负异速 I	正异速 I
2018	正异速 I	正异速 I	正异速 I	负异速 I	正异速 I
2017	正异速 I	正异速 I	正异速 I	负异速 I	正异速 II
2016	正异速 I	正异速 I	正异速 I	负异速 I	正异速 I
2015	正异速 I	正异速 I	正异速 I	负异速 I	正异速 I
2014	正异速 I	正异速 I	正异速 II	负异速 I	正异速 I

在分析广西各市的异速生长系数与经济集聚指数的关系时，我们发现表现出较强的城区面积扩张能力的城市，比如南宁市和桂林市，可能与他们的经济集聚指数较高有关，经济活动的集中可能促进了城市化进程，使得城市扩展速度快于人口增长。相反，北海市、钦州市、贺州市的异速生长指数较低，可能与它们的经济集聚指数较低有关，表明这些城市在维持人口密度和经济活动集中方面面临挑战。

基于人口 - 土地异速生长及其对经济集聚影响的演变，将城市分为四类：正 - 正、正 - 负、负 - 正和负 - 负。具体而言，正 - 正城市的异速生长表现为正异速且经济集聚指数在此期间呈增长趋势，正 - 负城市的异速生长同样表现为正异速但其经济集聚指数出现下滑，负 - 负城市表示异速生长为负异速且

经济集聚指数呈减少趋势, 负 - 正城市表示异速生长为负异速但经济集聚指数却增长。

为了更加直观地展示各城市类型在 2014 至 2022 年期间的变化情况, 我们特别选取了两个时间段——2014~2018 年和 2019~2022 年, 并分析了各市在这两个时间段内所属的城市类型, 通过对比分析, 可以清楚地看到各城市的变化, 部分如表 5 所示。

Table 5. Allometric growth and economic agglomeration type urban change table

表 5. 异速生长与经济集聚类型城市变化表

城市	2014~2018	2019~2022
南宁市	正 - 正	正 - 正
柳州市	正 - 正	正 - 正
桂林市	正 - 正	正 - 正
梧州市	正 - 正	正 - 正
北海市	负 - 正	负 - 正
防城港市	负 - 正	负 - 正
钦州市	负 - 正	负 - 正
贵港市	负 - 正	负 - 正
玉林市	正 - 正	正 - 正
百色市	负 - 正	负 - 正
贺州市	负 - 正	负 - 正
河池市	负 - 正	负 - 正
来宾市	负 - 正	负 - 正
崇左市	正 - 正	正 - 正

在所有四类城市中, 我们更偏向于认为正 - 正型城市最有利于城市发展的, 这意味这城市的经济集聚指数在增长, 而经济集聚指数的增长通常与规模经济和集聚经济效应的增强相关, 是城市发展的重要驱动力, 其正向增长表明城市能够吸引更多的投资、人才和资源, 更能够促进创新和产业升级, 同时建成区面积相对于人口的增长也是正向的, 有助于避免城市过度拥挤或土地资源的浪费, 对于城市的长期发展和居民生活质量的提高都是有益的。因此, 正 - 正类的城市表明城市土地利用与经济增长相协调, 城市发展更为健康和可持续。

相对于次, 正 - 负型城市经济集聚指数虽然在增大, 但建成区面积增长过快, 可能导致土地利用效率低下; 而负 - 正型城市建成区面积相对减少, 同时经济集聚指数增长, 这可能表明城市正在经历人口流失或去工业化; 负 - 负型城市的经济集聚指数和建成区面积都相对减少, 表示城市可能面临严重的发展挑战, 是最不利于城市发展的类型。

从时间跨度上来说, 大多数城市在两个时间段内都显示出经济集聚指数的增长, 从这方面来说广西各市在经济增长方面取得了一定的效果, 但是各市增长的速度和幅度存在差异, 如桂林市和南宁市显示出较强的经济增长动力, 而北海市和防城港市经济集聚指数增长速度相对较慢, 表明城市发展存在不平衡。

结合城市与其类型进行分析, 可以看出广西的大部分城市属于负 - 正类型, 这表明这些城市的经济活动集中, 但土地利用效率不高或者人口增长缓慢, 对于这些城市而言, 需要关注土地利用政策和人口动态, 以促进经济的均衡和可持续发展。其他城市属于正 - 正类型, 城市在经济增长和土地利用方面表现出良好的协调性, 城市经济活力增强, 土地利用与经济增长相协调, 城市发展态势良好。

4.3. 中心划分

为了精确地反映城市中心的划分和城市化进展, 本文选取桂林市作为局部分形维数的研究对象。局部分形维数可以用来量化特定区域内的复杂性和多样性, 能够提供该区域在空间分布上的细节, 帮助研究者更好地理解局部的特征。通过计算局部区域的分形维数, 可以评估该区域的利用效率, 例如, 高度局部分形维数表示更高的土地利用效率和更复杂的空间配置。对于城市规划和区域管理来说, 局部分形维数提供了一个量化标准, 帮助决策者识别需要改善或保护的特定区域, 以实现更有效的空间规划。

对桂林市 2014 年至 2022 年间的局部分形维数进行细致计算, 计算结果显示, 桂林市的局部分形维数在 0~1.7 的范围内。基于这一数据, 我们将其城市化进程划分为四个阶段: 分维在 0~1 之间的 stage 1, 此阶段代表着城市化初期, 建成区稀疏, 大部分区域处于未开发或低密度开发状态; 分维在 1~1.25 之间 stage 1, 此阶段代表城市化的发展阶段, 建成区开始扩张; 分维在 1.25~1.5 之间的 stage 3, 此阶段标志着城市化的成熟阶段, 城市结构逐步形态并趋于复杂, 城市功能区开始明显分化; 分维在 1.5~1.7 的 stage 4, 此阶段标志着城市化的高密度阶段, 建成区密集, 城市形态逐步趋于饱和。桂林市的城市形态发展图如图 4 所示。

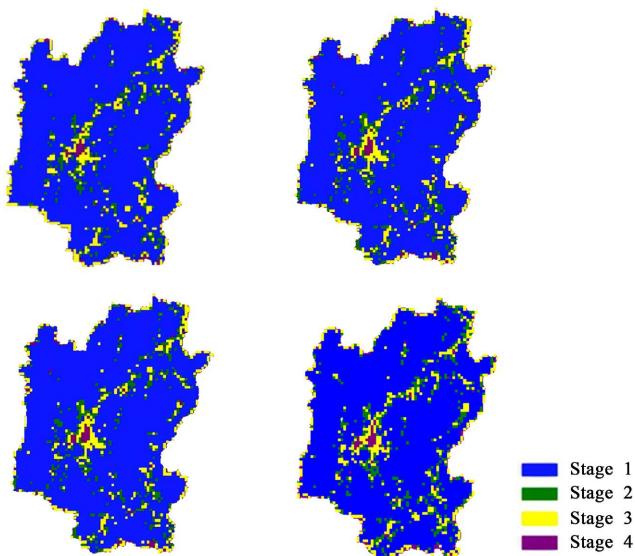


Figure 4. Urban morphological development map of Guilin in 2014, 2016, 2019, and 2022
图 4. 桂林市 2014、2016、2019、2022 年的城市形态发展图

本文将处于高密度阶段 stage 4 的区域划分为城市中心区域, 这个阶段, 城市中心和次中心已经形成, 且分维在此中间的可以代表城市的中心区域, 处于 stage 3 阶段的区域可以代表城市的次中心区域, 这些区域虽然不如城市中心密集, 但仍具有较高的建成区和复杂的城市功能。

4.4. 局部分形维数与经济集聚效应

在分析桂林市 2014 年至 2022 年中四个年份的局部分形维数的基础上, 本文构建了经济集聚指数与

分形维数的关系模型。通过统计分析和模型拟合,得到了一个具有拟合优度 0.964 的模型如下,这表明了经济集聚指数与局部分形维数之间强烈的相关性,反映了城市空间结构的优化能够促进经济活动的集聚。

$$y = -5.563 + 3.612 * x$$

其中, x 表示局部分形维数, y 表示经济集聚指数。

5. 结论

本文通过对广西壮族自治区 2014 年至 2022 年经济集聚指数的计算,展现了其经济发展与集聚效应,并以桂林为例探讨其与局部分形维数的相关性,揭示了城市形态的复杂性。具体结论如下:

1) 城市形态与经济发展的关联性

桂林市的局部分形维数与经济集聚指数显示,城市形态的演变与经济发展密切相关,特别是 stage 4 阶段,即城市化高密度阶段,建成区的密集程度与经济集聚指数表现出强烈的正相关性。这表明城市中心区域的经济活动集中度较高,这可能与城市中心的资源聚集、功能区密集和人口密度有关。

2) 异速生长现象的经济影响

广西各市的异速生长指数揭示了人口增长与土地扩展之间的非线性关系,这种非均匀性体现了城市对环境变化的适应,也反映了在资源有限的情况下,城市如何通过优化配置来实现经济发展。特别是河池市 2017 年的正异速生长现象,可能与当年出台的人才政策有关,这一发现为政策制定者提供了实证支持,说明政策调整对城市发展具有直接影响。

3) 实践意义

基于本研究的发现,建议政策制定者在城市规划中重视城市中心区域的经济发展和土地利用效率。同时,监测城市的类型变化,对于负-正城市,需要关注土地利用政策和人口动态,以促进经济的均衡和可持续发展。对于正-正型城市应继续保持经济增长活力,同时优化土地利用策略,广泛吸纳人才,以实现可持续的城市发展。

综上所述,本研究为理解城市经济活动的分布特点提供了新的视角,也为优化城市规划和实现区域协调发展提供了有价值的参考。未来研究可以扩展到更广泛的地区和更长时间阶段的数据,以增强研究结果的普遍性和时效性,提供更全面的城市规划策略。

参考文献

- [1] 周一星. 中国城市地理学: 评价和展望[J]. 人文地理, 1991, 6(2): 54-58.
- [2] Chen, Y., Wang, Y. and Li, X. (2019) Fractal Dimensions Derived from Spatial Allometric Scaling of Urban Form. *Chaos, Solitons & Fractals*, **126**, 122-134. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2019.05.029>
- [3] 王林峰, 刘刚, 周永章. 自相似性在遥感构造研究中的应用[J]. 国土资源遥感, 2010(2): 1-6.
- [4] Lan, T., Li, Z. and Zhang, H. (2019) Urban Allometric Scaling beneath Structural Fractality of Road Networks. *Annals of the American Association of Geographers*, **109**, 943-957. <https://doi.org/10.1080/24694452.2018.1492898>
- [5] Pantin, C.F.A. (1932) Problems of Relative Growth. *Nature*, **129**, 775-777. <https://doi.org/10.1038/129775a0>
- [6] Jeffreys, H. (1942) On Growth and Form. *Nature*, **150**, 332-333. <https://doi.org/10.1038/150332a0>
- [7] 罗红, 李百炼. 异速生长模型研究概述[J]. 生态学杂志, 2011, 30(9): 2060-2065.
- [8] Naroll, R.S. and Von Bertalanffy, L. (1956) The Principle of Allometry in Biology and the Social Sciences. *General Systems Yearbook*, **1**, 76-89.
- [9] Boeing, G. (2018) Measuring the Complexity of Urban Form and Design. *URBAN DESIGN International*, **23**, 281-292. <https://doi.org/10.1057/s41289-018-0072-1>
- [10] Ge, M. and Lin, Q. (2009) Realizing the Box-Counting Method for Calculating Fractal Dimension of Urban Form Based on Remote Sensing Image. *Geo-spatial Information Science*, **12**, 265-270. <https://doi.org/10.1007/s11806-009-0096-1>
- [11] Frankhauser, P. (2014) From Fractal Urban Pattern Analysis to Fractal Urban Planning Concepts. In: *Computational*

- Approaches for Urban Environments*, Springer, 13-48. https://doi.org/10.1007/978-3-319-11469-9_2
- [12] Klingenberg, C.P. and Froese, R. (1991) A Multivariate Comparison of Allometric Growth Patterns. *Systematic Biology*, **40**, 410-419. <https://doi.org/10.1093/sysbio/40.4.410>
- [13] Al-Doski, J., Mansorl, S.B. and Shafri, H.Z.M. (2013) Image Classification in Remote Sensing. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University Putra, Malaysia.
- [14] Soille, P. and Pesaresi, M. (2002) Advances in Mathematical Morphology Applied to Geoscience and Remote Sensing. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **40**, 2042-2055. <https://doi.org/10.1109/tgrs.2002.804618>
- [15] 薛德升, 曾献君. 中国人口城镇化质量评价及省际差异分析[J]. 地理学报, 2016, 71(2): 194-204.
- [16] Schober, P., Boer, C. and Schwarte, L.A. (2018) Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation. *Anesthesia & Analgesia*, **126**, 1763-1768. <https://doi.org/10.1213/ane.0000000000002864>
- [17] 广西壮族自治区统计局. 广西统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2014.
- [18] 广西壮族自治区统计局. 广西统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2015.
- [19] 广西壮族自治区统计局. 广西统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2016.
- [20] 广西壮族自治区统计局. 广西统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2017.
- [21] 广西壮族自治区统计局. 广西统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2018.
- [22] 广西壮族自治区统计局. 广西统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2019.
- [23] 广西壮族自治区统计局. 广西统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2020.
- [24] 广西壮族自治区统计局. 广西统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2021.
- [25] 广西壮族自治区统计局. 广西统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2022.
- [26] 广西壮族自治区统计局. 广西统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2023.
- [27] 郭峰, 王靖一, 王芳, 等. 测度中国数字普惠金融发展: 指数编制与空间特征[J]. 经济学(季刊), 2020, 19(4): 1401-1418.
- [28] Yang, J. and Huang, X. (2023) The 30m Annual Land Cover Datasets and Its Dynamics in China from 1985 to 2022. *Earth System Science Data*, **13**, 3907-3925.