

DOI:10.13718/j.cnki.xsxb.2022.01.009

# 基于地理探测器的昆明市主城区 房价时空分异特征及影响因子分析<sup>①</sup>

赵正贤<sup>1,2</sup>, 许泉立<sup>1,2</sup>

1. 云南师范大学 地理学部, 昆明 650500;

2. 云南师范大学 西部资源环境地理信息技术教育部工程研究中心, 昆明 650500

**摘要:** 探讨房价的时空演变和分异规律, 有助于政府部门制定合理的房价调控和土地利用政策, 促进城市健康发展. 以 2018 年 12 月至 2019 年 4 月昆明市主城区的房价数据为基础, 采用克里金插值分析了研究区房价的时空演变特征, 运用探索性空间数据分析揭示了房价的空间关联格局, 利用地理探测器定量测度和分析了房价的空间分异性特征及其驱动因素. 结果表明: ①研究区房价形成了海埂片区、一环范围 2 个房价高峰中心, 并呈现出中心高四周低的放射状格局, 整体房价由南向北呈上升趋势, 房价在 -31%~30% 之间波动, 大部分地区房价呈上涨趋势. ②研究区房价在空间分布上表现出显著的空间自相关性, 且多数区域具有显著的聚集性, 局部区域存在空间异质性. ③空间异质性探测结果显示, 地形和公共服务设施对房价空间分布的影响具有差异性, 其中地形因素对房价分异性的解释力更强; 任意两个因子的交互作用力均大于单个因素的影响力, 说明各因素之间的相互作用促进了房价的空间异质性.

**关键词:** 房价; 时空演变; 空间相关性; 空间分异; 地理探测器; 影响因子; 昆明市主城区

**中图分类号:** F293

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-5471(2022)01-0062-12

## On Spatial-Temporal Differentiation Characteristics and Influencing Factors of Housing Price in Main City Zone of Kunming Based on Geodector

ZHAO Zhengxian<sup>1,2</sup>, XU Quanli<sup>1,2</sup>

1. Faculty of Geography, Yunnan Normal University, Kunming 650500, China;

2. GIS Technology Engineering Research Centre for West-China Resources and

Environment of Educational Ministry, Yunnan Normal University, Kunming 650500, China

**Abstract:** Exploring the spatial-temporal evolution of housing price and the spatial differentiation will help government departments to formulate reasonable housing price control and land use policies and promote the healthy development of the cities. Firstly, the spatial-temporal evolution characteristics of housing price in the study area have been analyzed in this paper by means of kriging interpolation based on housing price data from December 2018 to April 2019 in the main city area of Kunming. Secondly, exploratory spa-

① 收稿日期: 2021-03-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(41461038).

作者简介: 赵正贤, 硕士研究生, 主要从事城市 GIS 与时空大数据分析的研究.

通信作者: 许泉立, 副教授.

tial data analysis has been used to reveal the spatial correlation pattern of housing price. Finally, the characteristics of spatial differentiation and its driving factors of housing price have quantitatively been measured and analyzed by geographical detectors. The results indicate that, 1) Housing price in the main city of Kunming have formed two peaks in the area of Haigeng and the first ring, and show a radiating pattern of high center and low surroundings, with prices rising from south to north. Housing price fluctuated between  $-31\%$  and  $30\%$ , with most areas showing an upward trend. 2) Housing price exhibit significant spatial autocorrelation in the spatial distribution and are significantly aggregated in most regions, with spatial heterogeneity in local regions. 3) Spatial heterogeneity detection results show that topography and public service facilities have differential effects on the spatial distribution of housing price, with the topography factor having a stronger explanatory power for housing price differentiation; the interaction of either two factors is greater than the influence of the individual factors, suggesting that the interaction between the factors promotes spatial heterogeneity in housing price.

**Key words:** housing price; spatial-temporal evolution; spatial correlation; spatial differentiation; Geodetector; influencing factors; the main city zone of Kunming

城镇化进程的加快使得城市人口不断增加,人们根据偏好和支付能力来选择住房,从而在有限的城市空间上形成了住宅价格的分布格局,并随着时间维度的变化在不断地变化与重构<sup>[1]</sup>.对住宅价格时空变化及空间分异格局分异机制的探讨,已成为当前城市研究的一个热点,引起政府部门和众多学者的关注<sup>[2]</sup>.从 20 世纪 80 年代开始,国内学者就对我国的城市住宅开展了研究,在随后的 20 年间,由于数据缺失、技术手段有限,导致住宅价格研究进展缓慢.随城市化程度的加深,住宅价格的影响因素逐渐复杂多变,并且不同的城市之间,住宅价格差异性较大,即便在同一个城市中,其房价也存在明显的空间差异<sup>[3]</sup>,这使政府部门对房价的调控和预测难度增大.因此,探索房价的时空演变和空间分异规律及其驱动力,对城市住宅的健康发展具有现实意义.

房价分布特征形成的原因较为复杂,其受到自然条件、社会经济发展和人口分布等综合影响.为此,学者们试图从不同角度开展房价时空特征及其影响机理的研究<sup>[4-6]</sup>,这些研究大致分为 3 种视角,即:基于社会经济发展影响的政策视角、基于城市规划的区域视角以及基于空间分析的时空视角.基于社会经济发展影响的政策视角是对社会经济发展策略与房价的变化建立关联,进而发现房价的政策性效应,比如,有学者从供求理论<sup>[7]</sup>、国家政策<sup>[8]</sup>、区位因素<sup>[9]</sup>、建筑特征<sup>[10]</sup>、邻里特征<sup>[11]</sup>、经济学<sup>[12]</sup>、社会学<sup>[13]</sup>等方面,研究房价时空演变的社会经济发展影响因素,为平衡区域房价提供了依据.该类方法从宏观视角判定房价与社会经济发展的关系,但是不能反映房价的时空变化特征及其原因.基于城市规划的区域视角是指从城市空间布局的角度表达房价的空间分布模式,比如,邹利林等<sup>[1]</sup>认为房价的空间分布特征主要分为 4 种模式,即以中央商务区(CBD)为中心的圈层模式,以交通干线为核心的扇形模式,以多城市中心向四周辐射的簇团模式,以及综合前 3 种结果的混合模式.但是该方法是一种定性评价,缺乏定量评估手段,难以揭示房价分布的空间关系及其格局,适合从宏观上刻画房价的空间分布特征.基于空间分析的时空视角是指以地理信息科学(GIS)为核心,利用空间自相关分析<sup>[14]</sup>、空间统计分析<sup>[15]</sup>以及地理分层异质性分析<sup>[16]</sup>等方法度量 and 评价房价的时空演化特征,是房价时空分布特征及其影响因素的主流研究体系,比如,王少剑等<sup>[17]</sup>,孟斌等<sup>[18]</sup>,刘海猛等<sup>[19]</sup>利用空间自相关方法分析研究区房价的空间聚集特征,发现房价随区域的发展,其空间自相关不断增强;张静等<sup>[20]</sup>通过构建城市住宅地价的地理加权回归模型,探究了各因子对住宅地价空间分异规律的;而张少尧等<sup>[21]</sup>利用地理探测器研究了房价分布的空间差异性.但上述方法只是从某个方面对房价的时空分布模式进行了探讨,难以反映房价时空演化异质性背后的影响因子及其形成机理.因此,如何表征房价的时空分异特征并揭示其成因,是一个有待深入研究的科学问题.

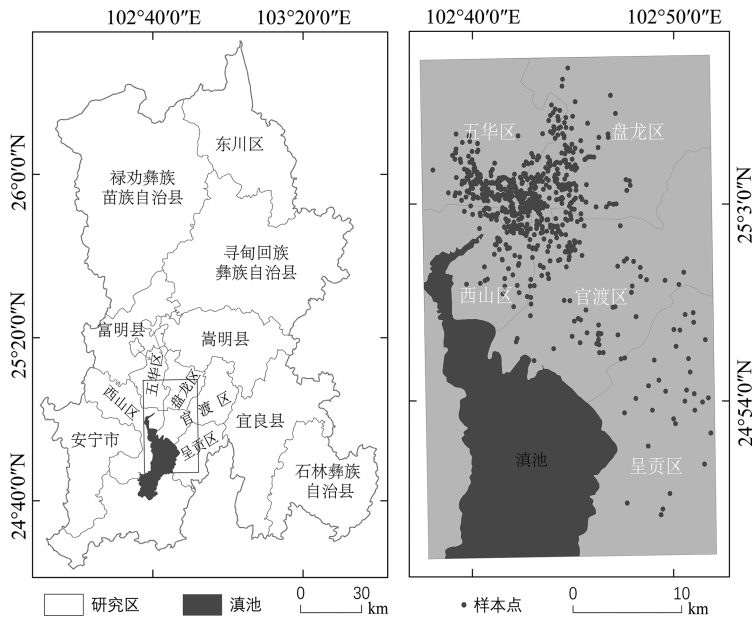
地理探测器是探测地理要素的空间分异性模式,并揭示该模式背后驱动因子的一种新的空间统计学方法<sup>[22]</sup>,该方法为定量探测地理时空分异规律及其原因提供了可靠的理论支撑与技术工具.该方法无线性假

设,免疫共线性,不仅可以探测房价分布的空间异质性模式,而且可以探究影响因素对房价空间分异性的解释力.因此,将地理探测器用于房价空间分异规律的研究具有一定的先进性.基于以上背景,本研究从地理学视角,以二手房房价(以下简称“房价”)数据为基础,利用克里金插值法和探索性空间数据分析方法,探究研究区内房价的空间分布和空间分异性模式,并利用地理探测器分析公共服务设施和地形因素对房价空间异质性的影响,研究昆明市主城区特定期房价的时空分布模式及其分异规律,以期政府部门调控房价、建设健康生活城市提供参考.

## 1 研究区域与数据

### 1.1 研究区概况

昆明市地处云贵高原中部,地理位置优越,既是云南省政治、经济、科技、文化、交通的中心,又是我国与东南亚国家开展旅游贸易的门户和枢纽.昆明市下辖 7 区、3 县、3 自治县和 1 个县级市,市区面积为 21 012.53 km<sup>2</sup>,城市建成区面积 435.81 km<sup>2</sup>.2018 年末昆明市总人口为 685 万人,约占全省总人口的 14%,生产总值总量达 5 206.9 亿元,约占全省生产总值的 29%.近十年来,昆明市作为一个“环湖城市”,城市扩张速度加快,公共服务设施不断完善,在逐渐成为人们心目中的宜居城市的同时,房价也在不断上涨.本研究选择昆明市经济水平较高、发展较快的西山区、五华区、盘龙区、官渡区和呈贡区的部分城市集中区域(简称“昆明市主城区”如图 1)为研究区,探究主城区房价的时空分异及影响因子,拟为城市建设和房地产平稳健康发展提供理论依据.



该图来源于云南省地理信息公共服务平台网站,审图号:云 S(2019)048 号

图 1 研究区示意图

### 1.2 数据来源与处理

#### 1.2.1 房价数据

通过实地咨询和整理多个网站的数据发现,近年来,昆明市二手房的售房源数量、挂牌数据和成交量都比较大.因此,本研究以昆明市二手房数据作为数据源,其中二手房价格数据来源于国内比较知名的住房销售平台安居客(<https://km.anjuke.com/>),利用互联网技术,获取平台销售住宅的地理位置、单价、户型等信息,数据采集时段为 2018 年 12 月至 2019 年 4 月.数据清洗时,剔除对研究影响较大的别墅、写字楼及重复数据源,并计算每个小区的住房均价.

#### 1.2.2 因子数据

快速的城市化进程使得公共服务设施对房价的影响越来越大,本研究选取对人们生活影响较大的公共

服务设施和地形作为房价的影响因子. 公共服务设施因子包括小区分别到最近地铁站、大学、中小学、公园、一级以上医院、商场、高速公路的距离; 地形因子包括坡度和海拔. 对公共服务设施到小区的距离进行缓冲分类、量化, 最终将离散的数值输入到地理探测器中, 探测各因子对房价空间分异的解释力. 此外, 本研究利用研究区的 DEM 数据计算其坡度、海拔, 并将计算得到的坡度、海拔重采样为  $0.5 \text{ km} \times 0.5 \text{ km}$  的格网数据, 最终将格网范围内地形数据的均值赋值给对应的房价点.

## 2 研究方法

### 2.1 探索性空间数据分析

为了揭示区域化房价的空间结构, 需要对其进行探索性空间数据分析. 探索性空间数据分析的核心是认识与地理位置相关的数据间的空间依赖、空间关联或空间自相关, 通过构建空间权重矩阵, 并利用全局或局部 *Moran's I* 指数来描述空间单元属性的全局或局部空间关联程度<sup>[23]</sup>. 空间权重矩阵( $\mathbf{W}$ ) 是进行探索性空间数据分析的前提和基础, 一般度量标准有邻近性指标和距离指标, 本研究选择距离指标进行分析. 通常用以下形式来表示矩阵  $\mathbf{W}$ :

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \cdots & w_{1n} \\ w_{21} & w_{22} & \cdots & w_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ w_{n1} & w_{n2} & \cdots & w_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中:  $n$  表示空间单元个数;  $w_{ij}$  表示空间单元  $i$  和空间单元  $j$  的相互邻近关系.

全局空间自相关是用来描述研究范围内空间单元某一属性的空间相关性. 本研究采用全局 *Moran's I* 指数描述昆明市主城区房价的整体空间关联程度. *Moran's I* 取值范围在  $-1 \sim 1$  之间, 正值表示空间单元属性值的空间分布正相关, 负值表示空间单元属性值的空间分布负相关,  $I=0$  表示空间单元属性值不存在空间相关性.

局部空间自相关主要用于描述昆明市主城区房价在子区域上的空间关联程度和空间差异特征, 可以采用局部 *Moran's I* 来度量. 从本质上看, 局部 *Moran's I* 是将全局 *Moran's I* 分解到各个空间单元, 全局 *Moran's I* 是建立在空间平稳性假设之上, 但是当空间中数据量较大时, 现实中很可能存在空间过程的非平稳性, 空间平稳性假设就变得很不现实<sup>[24]</sup>. 局部 *Moran's I* 指数公式为:

$$I_i = \frac{(x_i - \bar{x})}{S^2} \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_j - \bar{x}) \quad (2)$$

根据标准化以后的 *Moran's I* 值  $Z_i$  和  $I_i$  来判断房价的局部空间相关性, 如果  $I_i$  和  $Z_i$  同时为正, 说明第  $i$  个单元的房价和周围单元的房价均为高价格区, 为高一高集聚(H-H); 同理, 如果  $I_i$  为负  $Z_i$  为正时, 为高一低集聚(H-L);  $I_i$  和  $Z_i$  都为负时, 为低一高集聚(L-H);  $I_i$  为正  $Z_i$  为负时, 为低一低集聚(L-L).

### 2.2 克里金插值法

克里金插值法是以空间自相关性为基础, 利用原始数据和半方差函数的结构性, 对区域化变量的未知采样点进行线性、无偏、最优估值的插值方法<sup>[25]</sup>. 该方法不仅能对未知区域估值, 还可以提供估计值的误差<sup>[26]</sup>. 因此, 对于在空间分布上具有趋势性的房价数据, 采用克里金插值法能够更好地表现房价的空间分布特征.

### 2.3 地理探测器

地理探测器是王劲峰等<sup>[27]</sup>学者在 2010 年提出的一种空间异质性定量探测理论与方法, 该方法应用于疾病风险和环 境危害方面的研究较多, 但对于房价空间异质性及其驱动力的研究较少. 地理探测器主要用于事物的空间分异性研究, 其核心思想基于如下假设: 如果某种自变量对某种因变量具有重要影响, 那么自变量和因变量的空间分布应该具有相似性. 它一方面不仅可以探测数值型数据, 还可以探测定性数据, 但对于顺序量、比值量和间隔量, 需要进行适当的离散化<sup>[28]</sup>; 另一方面, 可以探测 2 个因子交互作用于因变量, 即能够检验出 2 因子的交互关系、强弱、方向以及线性和非线性等. 本研究利用地理探测器分析房价

的影响因子强度及因子间的交互作用, 研究昆明市主城区房价在空间上的分异规律. 影响因子的解释力  $q$  可表示为:

$$q = 1 - \frac{1}{N\sigma^2} \sum_i^L N_i \sigma_i^2 \quad (3)$$

式中:  $N$  为区域样本总数;  $\sigma_i^2$  为子区域房价的方差;  $i=1, 2, \dots, i$  表示子区域;  $L$  表示子区域数目;  $q$  为房价空间分异的影响因子解释力,  $q$  越大, 表示研究区内房价的空间分层异质性越强, 反之, 则表示空间分布的随机性越强. 若  $q=0$  则表示研究区内房价不存在空间异质性, 若  $q=1$  则表示完美的空间异质性<sup>[29]</sup>.

### 3 结果与分析

#### 3.1 房价时空分布特征

根据克里金插值的相关理论, 利用 ArcGIS 10.6 的地统计分析工具中的地统计向导, 选择普通克里金插值法分别对研究区 2018 年 12 月至 2019 年 4 日每月的房价数据进行空间插值. 由于使用克里金插值法的前提是数据变化服从正态分布, 对研究区内的房价数据进行对数变换, 变换后的数据基本服从正态分布, 通过不断调整插值相关的参数, 得到房价空间插值的最优模型, 最终交叉验证结果如表 1 所示. 采用普通克里金插值方法, 制图得到昆明市主城区房价时空分布图(图 2).

表 1 普通克里金插值法交叉验证结果

年月	标准平均值	标准均方根预测误差	均方根预测误差	平均标准误差
2018-12	0.012 064	0.965 7	2 538.562	2 621.045
2019-01	0.003 507	1.034 8	2 433.761	2 356.454
2019-02	0.023 154	0.932 4	2 948.127	3 068.927
2019-03	0.044 015	0.894 7	2 845.335	2 979.860
2019-04	0.009 293	0.970 9	2 943.577	2 777.639

由表 1 可知, 标准平均值较接近于 0, 标准均方根预测误差较接近于 1, 并且每个月份对应的均方根预测误差和平均标准误差较为接近, 表明房价空间插值模型选择合理, 插值结果能较好地反映房价的空间分布.

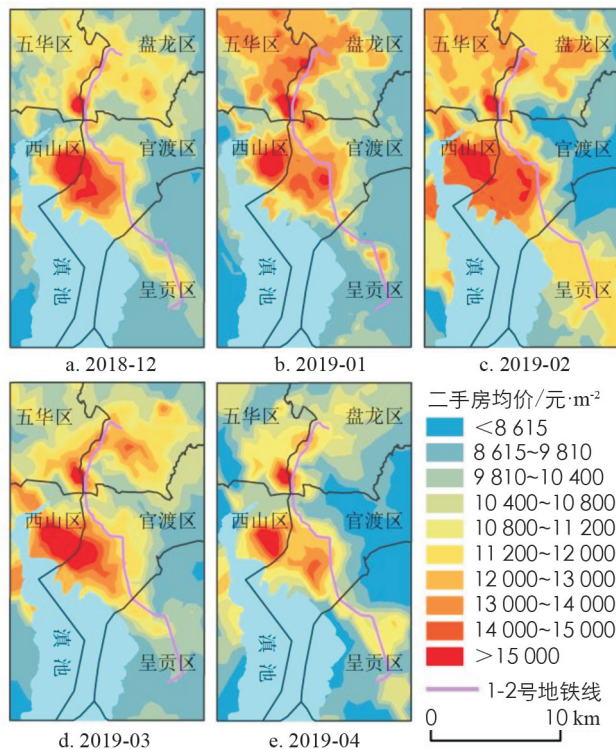


图 2 昆明市主城区二手房价格时空分布图

由图 2 可知, 研究区房价总体分布格局为以五华区、盘龙区、官渡区和西山区交界为中心, 呈中心高四周低的中心结构。此外, 在滇池以北的西山区和官渡区交界范围处, 形成了一个面积较大的房价高值区, 研究时段内该区域的房价呈先升后降的变化模式。研究区内房价总体呈现由多个房价高值中心形成的“簇团模式”。研究区内整体房价北部高于南部, 表现出“北热南冷”的差异性, 其南北房价差异分界线为官渡区和呈贡区的交界地带。呈贡区房价整体偏低, 该区除昆明市政府片区房价出现高值聚集外, 绝大部分地区为房价低值区。

时间序列上房价的空间分布特征如下: 从 2018 年 12 月至 2019 年 2 月, 总体房价由南至北呈上升趋势, 房价沿着城市的 2 个房价高峰区域(海埂片区和一环范围片区)向周围递减, 其扩散面积逐渐增大。从 2019 年 3 月至 4 月, 房价高值区域面积逐渐减小, 但房价高值中心较为突出。根据上述现象和供求理论初步判断, 2018 年 12 月至 2019 年 2 月, 市民对住房的购买力较强, 而中国最重大的节日“春节”正处于该时间段内; 2019 年 3 月至 4 月, 市民对住房购买力逐渐下降。

研究区内房价空间变化差异明显, 表现为: ①高房价聚集区: 海埂片区和一环范围片区为高房价集中区, 其中大部分房价在 13 000~15 000 元/m<sup>2</sup>, 中心区房价已超过 15 000 元/m<sup>2</sup>; ②低房价分散区: 房价低值区被高值区域切割。因此, 五华区和盘龙区房价由南向北逐渐衰减, 官渡区房价沿东北方向衰减较快, 且在官渡区东面、呈贡区的南面和北面均为房价的冷区; ③高房价扩张区: 房价高值从海埂片区沿东南方向递减, 且呈贡区的房价高值区域面积沿东南方向不断扩大, 其中房价较高区域集中在市政府和云南师范大学周围片区。

房价的空间分布与地铁 1 号线和 2 号线的走向具有相似性。图 3 显示, 房价高值区分布在地铁 1 号线和 2 号线周围, 其中呈贡区市政府、海埂片区和一环范围片区最具有代表性; 房价在空间上由北向南延伸分布, 且与地铁线的走向相似, 由此看出, 地铁线与房价关系密切, 地铁对房价的影响较大。

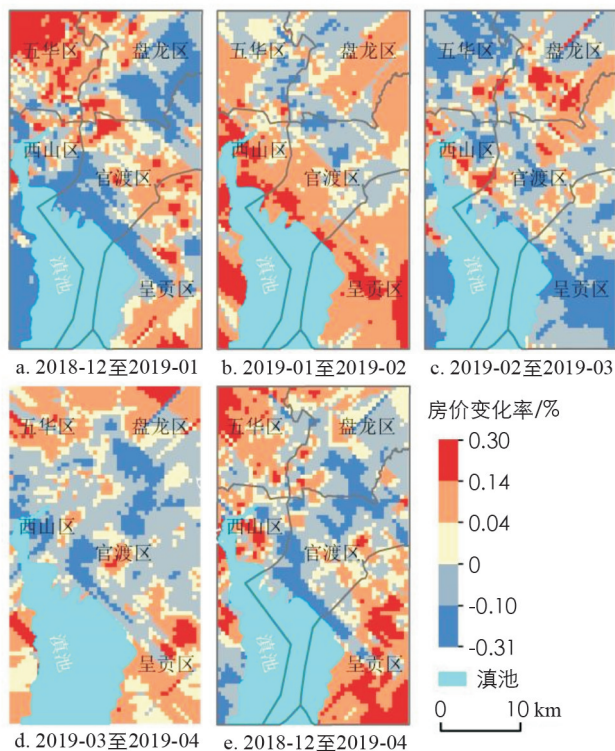


图 3 昆明市主城区二手房价格时空变化图

### 3.2 房价时空变化特征

房价的空间分布是从宏观的视角描绘房价的空间分布情况, 为了更准确和深入了解房价变化的空间分布格局, 需要在空间分布的基础上进一步量化。采用叠加分析本研究得到房价在前一个月的变化率, 采用

自然间断法将昆明市主城区的房价变化划分为 5 个等级. 从图 3e 可以看出: ①2018 年 12 至 2019 年 4 月昆明市主城区房价在  $-31\% \sim 30\%$  之间波动, 其变化高值区域位于五华区的西翥街道、西山区的滇池国家旅游度假区、呈贡区的洛龙街道、马金铺街道和大渔街道; 房价变化的低值区域主要位于盘龙区的青云街道和官渡区的多个街道, 包括金马街道、阿拉街道、六甲街道和滇池以北的环湖东路片区; 主城区的大部分地区房价在  $-10\% \sim 14\%$  之间变化, 盘龙区、官渡区大部分地区的房价呈下降趋势, 五华区、西山区和呈贡区的房价主要呈上升趋势. ②由图 3a 可以看出, 在盘龙区的东部、西山区西部和环湖东路片区房价跌幅最明显, 其余区域房价呈上涨趋势, 涨幅最大的地区包括西翥街道和金马街道. ③图 3b 的房价变化分布与图 3a 相反, 最典型区域为环湖东路片区, 但房价增幅最大的区域还是分布在五华区的东北部和呈贡区的东南部. ④图 3c 和 3d 的房价分布结果显示, 从 2019 年 2 月至 4 月房价整体表现为下降趋势, 部分区域表现为先降低后升高的趋势, 如五华区和盘龙区以北区域、呈贡区等.

### 3.3 房价空间关联格局分析

#### 3.3.1 房价全局自相关测度

为揭示昆明市主城区房价整体的空间相关性, 本研究运用 GeoDa 软件, 计算得到研究时段内每月房价的全局相关性指标(表 2). 结果显示, 研究区内房价的全局 *Moran's I* 指数均为正值, 其值在  $0.336 \sim 0.484$  范围内, 并且每月的全局 *Moran's I* 指数都很好地通过了显著性检验( $p < 0.05$ ). 总体上, 房价在空间分布上表现出正相关性, 且价格相似的空间单元呈聚集分布, 这表明研究区内房价在空间分布上不是随机的, 而是存在空间聚集现象, 即房价(高值或低值)随距离呈负相关显著聚集, 距离越近房价越相似, 距离越远房价差异性越大. 在时间系列上, 2018 年 12 月至 2019 年 2 月, 房价的全局 *Moran's I* 指数先增大后减小, 房价相似单元在空间上趋于聚集分布, 这与文中的房价时空变化形成对应关系. 同时, 在整个研究时段内, 房价的全局 *Moran's I* 指数大于任何一个月的 *Moran's I* 指数, 并且表现出更强的空间相关性, 这表明区域内房价的差异性逐渐减小.

表 2 2018 年 12 月至 2019 年 4 月房价全局空间自相关指标

年月	全局 <i>Moran's I</i> 指数	标准差	标准化 Z 值	显著性水平 <i>p</i> 值
2018-12	0.372	0.030	12.400	0.001
2019-01	0.336	0.033	10.411	0.001
2019-02	0.484	0.029	16.634	0.001
2019-03	0.440	0.026	16.884	0.001
2019-04	0.405	0.034	12.083	0.001
2018-12 至 2019-04	0.537	0.009	58.618	0.001

#### 3.3.2 房价局部自相关测度

为了更加深入了解研究区内房价的局部聚集和差异特征, 利用 Moran 散点图和 LISA 进行分析和判定. 本研究对 Moran 散点图中各个象限的点数进行了统计, 通过 LISA 聚集图分析房价在局部空间上的关联程度.

局部空间自相关类型及汇总. 将 Moran 散点图分为 4 个象限: 第一象限为 H-H 关联, 第二象限为 L-H 关联, 第三象限为 L-L 关联, 第四象限为 H-L 关联. 利用 GeoDa 软件计算并统计各个象限样点的数量和占比, 结果如表 3. 由表 3 可知, 研究时段内绝大部分样点表现出较强的正相关性, 并且落入第一、第三象限的点不断增加; 属于正相关类型 H-H 与 L-L 的比例之和分别为  $66.25\%$ ,  $67.67\%$ ,  $73.12\%$ ,  $71.04\%$ ,  $72.26\%$ ; 落入第一、第三象限的点不断减少, 属于负相关类型 L-H 与 H-L 的比例之和分别为  $33.75\%$ ,  $32.33\%$ ,  $26.88\%$ ,  $28.96\%$ ,  $27.74\%$ . 表明研究区内房价以正相关类型为主, 随着时间的推移昆明市房价相似区域的空间集聚效应不断增强.

LISA 分析. 通过 LISA 聚集图可以更加直观地显示房价的局部空间关联程度, 即各空间单元间的相互依赖性和异质性. 图 4 显示, 研究时段内昆明房价 H-H 关联区域主要分布在一环中心、翠湖公园、滇池路、红塔路和福保路片区, 其中一环中心和翠湖公园片区的正相关聚集程度最高, 存在明显的空间溢出效

应. 房价 L-L 关联主要分布在人民中路南部、环城东路和二环东路之间, 以及斗南、呈贡区以北(沿河路和石龙路)片区, 其中低值聚集度较高区域的分布于人民中路南部、环城东路和二环东路之间. 对于负空间关联的 H-L、L-H 区域较少且分布散乱, 主要分布在 4 区交界(西山区、五华区、盘龙区和官渡区)范围内, 这表明昆明市房价的分布存在 H-L 值、L-H 值聚集的现象, 即存在一定程度的空间异质性.

表 3 2018 年 12 月至 2019 年 4 月二手房价格局部空间自相关类型及汇总

类 型	2018-12		2019-01		2019-02		2019-03		2019-04	
	数量/个	比例/%	数量/个	比例/%	数量/个	比例/%	数量/个	比例/%	数量/个	比例/%
H-H	65	20.51	57	21.43	72	20.81	92	20.81	59	20.21
L-L	145	45.74	123	46.24	181	52.31	222	50.23	152	52.05
L-H	54	17.03	44	16.54	42	12.14	74	16.74	39	13.36
H-L	53	16.72	42	15.79	51	14.74	54	12.22	42	14.38
总计	317	100	266	100	346	100	442	100	292	100

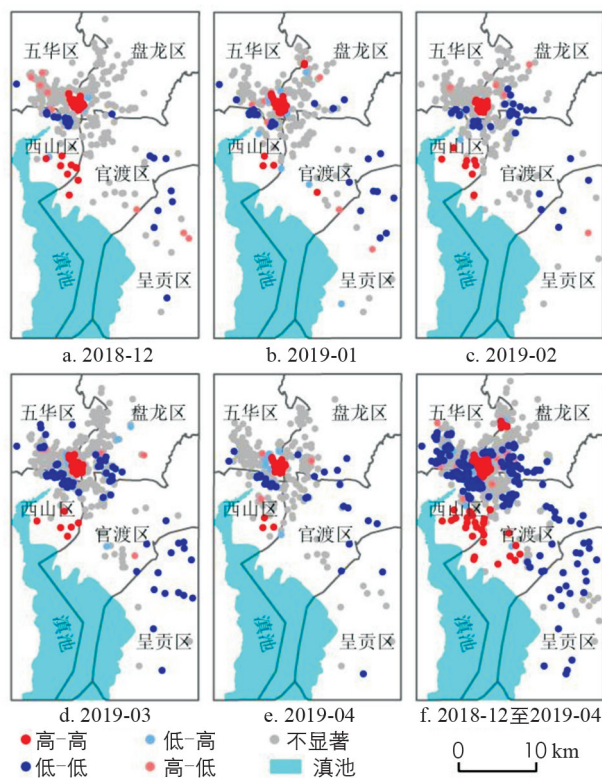


图 4 昆明市主城区房价 LISA 聚集图

通过图 4f 可看出, 整个研究时段内, 昆明市二手房价格在 4 区交界及滇池以北片区, 呈现出 H-H 值聚集正相关, 4 区交界的 H-H 关联区被 L-L 关联区所包围, 基本形成圈层模式. 另外, 在呈贡区北部洛羊镇、斗南镇和市政府是 L-L 关联聚集区, 表明呈贡区整体房价相对中心市区较低. 呈贡区具有良好的环境, 是健康生活的目的地, 并且近几年区域建设力度加大、设施不断完善, 该区域的房价具有较大的上升空间.

### 3.4 房价的分异特征及其影响因子分析

对昆明市主城区房价的空间关联格局分析发现, 研究区内房价空间聚集效益不断增强, 但是有 26.88%~32.33% 的散点表现为空间分异性. 为进一步揭示昆明市主城区房价的空间分异性及其背后驱动力, 本研究利用地理探测器独特的空间分异探测能力, 对分类后的离散数据进行计算, 得到因子探测、交互作用探测和生态探测结果.

因子探测可以探测房价的空间分异性以及各驱动因子在多大程度上解释了房价空间分异. 结果显示



(表 4), 地铁站、大学、公园、医院、高速公路、商场、坡度、海拔均在 1% 置信水平上显著. 研究区内, 海拔和坡度因子的探测力值( $q$ )大于 0.1, 其中坡度对房价的解释力最大( $q=0.6807$ ), 其次是海拔( $q=0.2986$ ); 公共服务设施中的因子探测力值都在 0.1 以下, 其中医院对房价的解释最高( $q=0.0585$ ), 其次是高速公路, 公园和商场对房价的解释力比较相近. 整体上, 公共服务设施对房价的影响比较微弱, 地形因素对房价空间分异的解释力远高于公共服务设施, 表明研究区内地形因素对房价的分异影响更大, 因此在房价的分析和评估中, 应考虑地形因素的影响.

表 4 因子探测结果

因子	$q$	$p$	因子	$q$	$p$
大学	0.0231*	0.000	高速公路	0.0336*	0.000
地铁站	0.0212*	0.000	商场	0.0184*	0.000
中小学	0.0034	0.8393	坡度	0.6807*	0.000
公园	0.0186*	0.000	海拔	0.2986*	0.002
医院	0.0585*	0.000			

注: \* 表示在 1% 置信水平上显著.

生态探测可用来比较各因子对房价空间分布的影响是否存在显著的差异. 地理探测器中, 通过  $F$  统计来衡量, 表格中(表 5)的“Y”表示存在显著性差异, “N”表示不存在显著性差异. 由表 5 可知, 就各因子对房价的空间分布作用而言, 公共服务设施与地形因素之间存在着显著差异, 而各个公共服务设施因子间对房价空间分布的影响不存在显著的差异性. 说明地形因素与公共服务设施对房价的空间分布影响差异较大, 功能和属性相似的因子对空间分布作用相似, 即差异性较弱. 而差异性的大小可以通过因子探测中的探测力值( $q$ )来衡量.

表 5 生态探测结果

	大学	地铁站	中小学	公园	医院	高速公路	商场	坡度	海拔
大学									
地铁站	N								
中小学	N	N							
公园	N	N	N						
医院	N	N	N	N					
高速公路	N	N	N	N	N				
商场	N	N	N	N	N	N			
坡度	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y		
海拔	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	

交互作用探测可以探测各驱动因子之间的交互作用, 即评估在驱动因子(A 和 B)共同作用下, 驱动因子是否增强或减弱对房价空间分异的解释力. 由表 6 可以看出, 在公共服务设施因素中, 任意 2 个因素的交互作用影响力(简称“交互作用力”)均大于单个因素作用时的影响力, 并且各影响因素间的交互作用力也均大于它们单独作用的影响力之和; 其次, 对于影响力较大的因素, 其交互作用力也较大. 在公共服务设施中, 商场和医院的共同交互作用力最大, 为 0.1173, 学校和公园的共同交互作用力最小, 为 0.0249. 在地形因素和公共服务设施因素的交互中, 坡度、海拔与公共服务设施因素交互作用力最大, 为 0.7131, 学校和海拔的共同交互作用力最小, 为 0.3269. 可见, 地形与公共服务设施因素间的交互作用力均大于各公共服务设施因素之间的交互作用力. 因子间的交互作用类型有双因子增强型和非线性增强型, 除坡度与医院、坡度与高速公路、坡度与海拔、地铁站与公园的交互作用类型为双因子增强型以外, 其他因素间的交互作用类型均为双因子增强型和非线性增强型. 说明对于房价空间分异的解释力, 不只是单一因素的影响, 而是多个因素共同作用的结果, 这是房价预测难度较大的原因. 在今后的房价调控政策中, 应综合考虑多种因素的影响.

表 6 交互作用探测结果

$A \cap B = C$	$A + B$	比较	交互作用
Subway $\cap$ University = 0.056 7	Subway+University = 0.044 3	$C > A, B; C > A + B$	++; $\uparrow$
Subway $\cap$ School = 0.034 4	Subway+School = 0.024 6	$C > A, B; C > A + B$	++; $\uparrow$
Subway $\cap$ Park = 0.034 5	Subway+Park = 0.039 8	$C > A, B; C < A + B$	++
Subway $\cap$ Hospital = 0.082 2	Subway+Hospital = 0.079 7	$C > A, B; C > A + B$	++; $\uparrow$
Subway $\cap$ Highway = 0.057 0	Subway+Highway = 0.054 8	$C > A, B; C > A + B$	++; $\uparrow$
Subway $\cap$ Shop = 0.040 4	Subway+Shop = 0.039 6	$C > A, B; C > A + B$	++; $\uparrow$
Subway $\cap$ Slope_dis = 0.711 1	Subway+Slope_dis = 0.701 9	$C > A, B; C > A + B$	++; $\uparrow$
Subway $\cap$ Height = 0.373 6	Subway+Height = 0.319 8	$C > A, B; C > A + B$	++; $\uparrow$
University $\cap$ School = 0.0315	University+School = 0.0265	$C > A, B; C > A + B$	++; $\uparrow$
University $\cap$ Park = 0.062 7	University+Park = 0.041 7	$C > A, B; C > A + B$	++; $\uparrow$
University $\cap$ Hospital = 0.099 8	University+Hospital = 0.081 6	$C > A, B; C > A + B$	++; $\uparrow$
University $\cap$ Highway = 0.063 6	University+Highway = 0.056 7	$C > A, B; C > A + B$	++; $\uparrow$
University $\cap$ Shop = 0.044 7	University+Shop = 0.041 5	$C > A, B; C > A + B$	++; $\uparrow$
University $\cap$ Slope_dis = 0.707 9	University+Slope_dis = 0.703 8	$C > A, B; C > A + B$	++; $\uparrow$
School $\cap$ Park = 0.024 9	School+Park = 0.022 0	$C > A, B; C > A + B$	++; $\uparrow$
School $\cap$ Hospital = 0.069 6	School+Hospital = 0.061 9	$C > A, B; C > A + B$	++; $\uparrow$
School $\cap$ Highway = 0.041 8	School+Highway = 0.037 0	$C > A, B; C > A + B$	++; $\uparrow$
School $\cap$ Shop = 0.026 9	School+Shop = 0.021 9	$C > A, B; C > A + B$	++; $\uparrow$
School $\cap$ Slope_dis = 0.710 5	School+Slope_dis = 0.684 2	$C > A, B; C > A + B$	++; $\uparrow$
School $\cap$ Height = 0.327 0	School+Height = 0.302 0	$C > A, B; C > A + B$	++; $\uparrow$
Park $\cap$ Hospital = 0.082 8	Park+Hospital = 0.077 1	$C > A, B; C > A + B$	++; $\uparrow$
Park $\cap$ Highway = 0.068 5	Park+Highway = 0.052 2	$C > A, B; C > A + B$	++; $\uparrow$
Park $\cap$ Shop = 0.042 7	Park+Shop = 0.037 0	$C > A, B; C < A + B$	++; $\uparrow$
Park $\cap$ Slope_dis = 0.714 6	Park+Slope_dis = 0.699 3	$C > A, B; C > A + B$	++; $\uparrow$
Park $\cap$ Height = 0.381 9	Park+Height = 0.317 2	$C > A, B; C > A + B$	++; $\uparrow$
Hospital $\cap$ Highway = 0.092 6	Hospital+Highway = 0.092 1	$C > A, B; C > A + B$	++; $\uparrow$
Hospital $\cap$ Shop = 0.117 3	Hospital+Shop = 0.076 9	$C > A, B; C > A + B$	++; $\uparrow$
Hospital $\cap$ Slope_dis = 0.715 7	Hospital+Slope_dis = 0.739 2	$C > A, B; C < A + B$	++
Hospital $\cap$ Height = 0.464 8	Hospital+Height = 0.357 1	$C > A, B; C > A + B$	++; $\uparrow$
Highway $\cap$ hop_dis = 0.051 4	Highway+Shop = 0.052 0	$C > A, B; C > A + B$	++; $\uparrow$
Highway $\cap$ Slope_dis = 0.687 7	Highway+Slope_dis = 0.714 3	$C > A, B; C < A + B$	++
Highway $\cap$ Height = 0.357 7	Highway+Height = 0.332 1	$C > A, B; C > A + B$	++; $\uparrow$
Shop $\cap$ Slope_dis = 0.717 5	Shop+Slope_dis = 0.699 2	$C > A, B; C > A + B$	++; $\uparrow$
Shop $\cap$ Height = 0.454 4	Shop+Height = 0.317 0	$C > A, B; C > A + B$	++; $\uparrow$
Slope_dis $\cap$ Height = 0.713 1	Slope_dis+Height = 0.979 3	$C > A, B; C < A + B$	++

注: ++表示双因子(A和B)增强型;  $\uparrow$ 表示A和B非线性增强型。

## 4 结论

本研究利用普通克里金插值法对昆明市在售二手房价格进行空间插值,分析了房价的时空变化特征,以及房价的全局和局部自相关测度,揭示了房价的整体和局部的空间相关性、聚集性和差异性特征;利用地理探测器识别了房价的空间分异性以及其背后的驱动因素。主要结论如下:

从房价时空分布变化上看,海埂片区和一环范围片区为研究区房价高峰中心,房价向四周递减,整体呈中心高四周低的放射状格局。从全局来看,房价北部高、南部低,呈贡区房价整体偏低。从时间序列上来看,2018年12月至2019年2月昆明市房价总体房价沿南北方向呈上升趋势,2018年3月至2019年4月房价高价值区域面积逐渐减小且变得更加突出,但房价的2个高值中心仍然在海埂片区和一环片区内。房价的空间分布与地铁1号线和地铁2号线的走向具有相似性,地铁线周围房价较高。房价的时空变化特征显

示,研究时段内,房价在 $-31\% \sim 30\%$ 之间波动,大部分地区房价呈上涨趋势,少数区域涨幅最明显,还有部分区域呈先降后升的变化。

从房价时空分布模式上看,全局自相关测度分析结果显示,研究区内房价的全局 *Moran's I* 指数为  $0.336 \sim 0.484$ ,整个研究时期,房价的 *Moran's I* 指数( $0.537$ )均高于单月指数值,房价在空间分布上呈现正相关性和聚集性,且随着距离的增加,房价的差异性不断增大.从局部来看,昆明市房价以 H-H 值、L-L 值聚集为主,局部聚集效应不断增强,并表现出显著的空间聚集性,但是在房价的高低值、低高值聚集区域存在空间异质性。

从房价时空分布异质性上看,地形因素与公共服务设施因素对房价的空间分布的影响差异较大,地形因素对房价空间分异性的解释程度明显高于公共服务设施,公共服务设施对房价的影响较弱.在地形因素中,坡度对房价的解释力最高,海拔次之;在公共服务设施因素中,医院对房价的解释力最高,最低的是中小学.交互作用探测结果表明,任何两个因素的交互作用力均大于单个因素的影响力,并且影响力较大的因素,与之对应的交互作用力也较大.除坡度与医院、坡度与高速公路、坡度与海拔、地铁站与公园的交互作用类型为双因子增强型以外,其余各因素间的交互作用类型均为双因子增强型和非线性增强型.表明房价的空间分异性是多个因素共同作用的结果,在今后关于房价的研究中,应考虑地形因素对房价的影响。

本研究选取与人们生活息息相关的地形、公共服务设施为驱动因子,探究了昆明市房价的驱动力及空间相关性,因房价还受政府宏观调控、市场经济变化、区域环境质量、结构特征等因素的影响,这些因素难以量化,也很难将其综合运用于房价的评估和预测中,因此在未来的研究中,可以充分利用时空大数据的优势来弥补数据样本少、实时性和有效性差等不足,利用机器学习技术来构建特征房价模型和框架,实现对城市房价的实时动态监测,并解决城市房价的多尺度、多维度的模拟和预测等问题。

#### 参考文献:

- [1] 邹利林,杨俊,胡学东.中国城市住宅价格时空演变研究进展与展望[J].地理科学进展,2013,32(10):1479-1489.
- [2] 况伟大.预期、投机与中国城市房价波动[J].经济研究,2010,45(9):67-78.
- [3] 梁云芳,高铁梅.中国房地产价格波动区域差异的实证分析[J].经济研究,2007,42(8):133-142.
- [4] BASU S, THIBODEAU T G. Analysis of Spatial Autocorrelation in House Prices [J]. The Journal of Real Estate Finance and Economics, 1998, 17(1): 61-85.
- [5] Jang M, Kang C D. Retail accessibility and proximity effects on housing prices in Seoul, Korea: A retail type and housing submarket approach [J]. Habitat International, 2015, 49: 516-528.
- [6] 吕萍,甄辉.基于GWR模型的北京市住宅用地价格影响因素及其空间规律研究[J].经济地理,2010,30(3):472-478.
- [7] 阮连法,包洪洁,温海珍.重大事件对城市住宅价格的影响——来自杭州市的证据[J].中国土地科学,2012,26(12):41-47.
- [8] 宫汝凯,黄宗远.什么推动了中国城镇房价上涨?来自制度变量的证据[J].南方经济,2012(9):3-16.
- [9] CHIN H C, FOONG K W. Influence of School Accessibility on Housing Values [J]. Journal of Urban Planning and Development, 2006, 132(3): 120-129.
- [10] 王姗姗,丁和庚,吴群.容积率对城市住宅用地交易价格影响的定量研究——以南京市为例[J].资源科学,2009,31(1):123-129.
- [11] 尹海伟,徐建刚,孔繁花.上海城市绿地宜人性对房价的影响[J].生态学报,2009(8):4492-4500.
- [12] 郭斌,王莹.基于动态计量经济学模型的城市房价影响因素研究[J].商业研究,2010(11):174-177.
- [13] 戴其文,姚意旗,张晓奇,等.环境对城市房价影响研究述评与展望[J].资源科学,2019,41(4):627-642.
- [14] TOBLER W R. A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region [J]. Economic Geography, 1970, 46 (sup1): 234-240.
- [15] 谢旦杏,林雄斌.城市住房价格时空间特征及其影响因素研究[J].经济地理,2014,34(4):70-77.
- [16] 王劲峰,徐成东.地理探测器:原理与展望[J].地理学报,2017,72(1):116-134.
- [17] 王少剑,王洋,蔺雪芹,等.中国县域住宅价格的空间差异特征与影响机制[J].地理学报,2016,71(8):1329-1342.

- [18] 孟斌,张景秋,王劲峰,等.空间分析方法在房地产市场研究中的应用——以北京市为例[J].地理研究,2005,24(6):956-964.
- [19] 刘海猛,石培基,潘竟虎,等.中国城镇房价收入比时空演变的多尺度分析[J].地理科学,2015,35(10):1280-1287.
- [20] 张静,张丽芳,濮励杰,等.基于GWR模型的城市住宅地价的时空演变研究——以江苏省为例[J].地理科学,2012,32(07):828-834.
- [21] 张少尧,宋雪茜,邓伟.空间功能视角下的公共服务对房价的影响——以成都市为例[J].地理科学进展,2017,36(8):995-1005.
- [22] LI X, XIE Y, WANG J, et al. Influence of Planting Patterns on Fluoroquinolone Residues in the Soil of an Intensive Vegetable Cultivation Area in Northern China [J]. *The Science of the Total Environment*, 2013, 458-460: 63-69.
- [23] 朱丽南,宗刚,陈连磊.基于ESDA方法与空间计量模型的房价溢出效应分析[J].工业技术经济,2017,36(3):98-106.
- [24] Ord J K, Getis A. Local spatial autocorrelation statistics: distributional issues and an application [J]. *Geographical analysis*, 1995, 27(4): 286-306.
- [25] 邓羽,刘盛和,姚峰峰,等.基于协同克里格的基准地价评估及空间结构分析[J].地理科学进展,2009,28(3):403-408.
- [26] 郑光辉,黄克龙,张志宏,等.运用克里金空间插值技术进行土地级别划分[J].南京师大学报(自然科学版),2007,30(1):112-116.
- [27] WANG J F, LI X H, CHRISTAKOS G, et al. Geographical Detectors-Based Health Risk Assessment and Its Application in the Neural Tube Defects Study of the Heshun Region, China [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2010, 24(1): 107-127.
- [28] CAO F, GE Y, WANG J F. Optimal Discretization for Geographical Detectors-Based Risk Assessment [J]. *GIScience & Remote Sensing*, 2013, 50(1): 78-92.
- [29] 张金茜,巩杰,柳冬青.地理探测器方法下甘肃白龙江流域景观破碎化与驱动因子分析[J].地理科学,2018,38(8):1370-1378.

责任编辑 胡杨