

DOI: 10.5846/stxb201705190927

汪桂芳, 穆博, 宋培豪, 金牧青, 何瑞珍, 田国行. 基于无人机航测的漯河市土地利用景观格局尺度效应. 生态学报, 2018, 38(14): - .
Wang G F, Mu B, Song P H, Jin M Q, He R Z, Tian G H. Scale effects on land use patterns in Luohe City based on an unmanned aerial vehicle survey. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(14): - .

基于无人机航测的漯河市土地利用景观格局尺度效应

汪桂芳, 穆博, 宋培豪, 金牧青, 何瑞珍, 田国行*

河南农业大学, 郑州 450002

摘要:景观格局的尺度效应一直是景观生态学研究的核心内容,对于揭示景观空间格局变化规律及其生态过程具有重要意义。本文以漯河市中心城区为研究对象,基于景观生态学原理,采用无人机航测技术获取空间分辨率为 0.09 m 的无人机影像,结合 GIS 空间分析法,量化分析了漯河市土地利用景观格局的尺度效应。结果表明:(1)漯河市中心城区土地利用景观格局具有明显的粒度和幅度效应。(2)粒度越小,景观格局指数随空间粒度的变化趋势越稳定,其表达的生态过程越真实;景观水平上整体景观格局的粒度效应是由建筑、道路和绿地景观在景观优势度、破碎度和聚集度等方面的变化导致的;35 m 和 3 m 分别为研究粒度效应的临界阈值和最佳粒度。(3)景观优势度、破碎度和蔓延度随空间幅度的增加而降低,景观复杂程度和聚集度随空间幅度的增加而增加;景观格局具有明显的空间梯度分布特征——从市中心往外由不透水地面向透水地面过渡;建筑和道路在城市中心区聚集度较高,而绿地景观在城市内部破碎度较高,进而主导了整体景观格局的梯度变化;景观组分的稳定与城市规模有关。(4)无人机航测技术可以更快速、准确地获取城市尺度上的景观生态信息,揭示景观格局对尺度效应的响应特征,可为景观格局优化和城乡景观规划提供科学依据。

关键词:景观格局;土地利用;尺度效应;无人机航测;漯河市

Scale effects on land use patterns in Luohe City based on an unmanned aerial vehicle survey

WANG Guifang, MU Bo, SONG Peihao, JIN Muqing, HE Ruizhen, TIAN Guohang*

Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China

Abstract: The scale effects on landscape patterns are not only crucial for determining characteristics of change and ecological processes in the landscape patterns, but also a major issue in landscape ecology research. Unmanned aerial vehicle (UAV) imagery has great potential for the study of scale effects on urban landscape patterns because of its high spatial resolution, versatility, and remarkable operational improvements in recent years. In this study, the landscape classes of urban land use were extracted from UAV imagery of Luohe central city with 0.09 m spatial resolution based on Geographic Information System (GIS) techniques. The scale effects on land use patterns were quantified by using FRAGSTATS 4.2 and principles of landscape ecology. The results were as follows: (1) The landscape indexes were sensitive to the variance of grain and extent. (2) The smaller the spatial grain size was, the more stable the change trend of the landscape indexes was, which usually brought more realistic processes of ecology in the landscape patterns; the grain size effect on landscape patterns at the landscape level was mainly caused by the changes of landscape dominance, fragmentation, and aggregation of buildings, roads, and green land; 35 m was the largest threshold of spatial grain size, whereas 3 m was the optimal spatial grain size during the study of grain size effect. (3) The landscape dominance, fragmentation, and contagion decreased,

基金项目:河南省科技厅产学研资助项目(142107000101);国家自然科学基金(31470029);河南农业大学科技创新基金(KJCX2017A18);河南省乡土植物园项目(30801046)

收稿日期:2017-05-19; 网络出版日期:2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: tgh0810@163.com

whereas the landscape complexity and aggregation increased with the increase in spatial extent; the landscape patterns had obvious spatial gradient distribution characteristics, with the transition from impermeable soil surfaces in the central city to the permeable soil surfaces in the outside city; the aggregation of buildings and roads was higher in the central city area, whereas the fragmentation of green land was higher in the city, and all of these factors led to the gradient change in the landscape patterns at the landscape level; the stability of the landscape components was related to the city scale. (4) The UAV survey technology could generate urban landscape ecological information with accuracy and efficiency, reveal the response characteristics of the scale effects on landscape patterns, and provide a scientific basis for the optimization of landscape patterns and the planning of the urban-rural landscape.

Key Words: landscape patterns; land use; scale effects; unmanned aerial vehicle survey; Luohe City

景观格局的尺度效应一直是景观生态学研究热点及核心问题之一^[1-3]。景观生态学中,粒度(grain)和幅度(extent)常用来描述空间尺度,对于空间数据或影像资料而言,粒度指最大分辨率或像元(pixel)大小,幅度指研究区域的总面积^[4-6]。当前国内学者研究尺度效应所用的传统影像数据大致可分为4类:Landsat_TM和ETM+影像、SPOT影像、IKONOS影像和Quick Bird影像。陈永林等^[7]基于TM影像(空间分辨率30 m)提取长沙市土地利用图,分析得出景观格局的最佳空间粒度为90 m;龚建周等^[8]基于SPOT影像(空间分辨率5 m)提取广州市土地利用图,分析得出粒度“临界阈”为10、32 m和128 m;孙丹峰^[9]利用IKONOS影像(空间分辨率1 m)进行了景观格局特征尺度的小波与半方差研究,分析得出城市景观总体结构的空变程为135 m;唐玲等^[10]利用Quick Bird影像(空间分辨率0.61 m)对绿地景观格局的空间幅度效应进行了研究,得出沈阳市绿地景观格局梯度分析的适宜幅度为5 km。然而,这些影像数据无法避开云层的干扰,且对于分辨率以下的小型斑块无法辨识,同时由于分辨率和重访周期的限制,难以满足运用其进行时空序列上破碎化程度较高的城市景观尺度效应研究的需要^[11-12],且根据其所得出的最佳粒度及尺度阈值随着影像分辨率的升高而变小的特征,我们猜想更高精度的影像是否会得出更小的尺度阈?这也是本文要研究的主要科学问题。随着科学技术的发展,高分辨率(可达厘米级)、高时效性、移动性能高的无人机航测影像^[13]应运而生,为研究更小尺度上的景观格局提供了技术支撑。

无人机影像在景观生态学中的应用主要集中在森林和湿地系统^[14-17],农业和牧场系统^[18-21],城市植被制图^[22]等方面,而用来研究城市景观格局尺度效应的比较少。因此本文以漯河市中心城区为研究对象,通过无人机航测获取空间分辨率为0.09 m的高精度影像,结合GIS空间分析法,从空间粒度和幅度两种尺度研究漯河市中心城区景观格局的尺度效应,揭示更高精度影像下漯河市景观格局所表现出的特殊现象和规律,探讨无人机航测在景观格局尺度效应研究上和城乡景观可持续发展过程中的重要应用,并为漯河市城乡景观生态安全格局的优化提供科学依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

漯河地处中原,位于河南省中南部(113°27'—114°16'E,33°24'—33°59'N),伏牛山东麓平原与淮北平原交错地带,南北中线京港澳通道和东西宁洛高铁在此交汇,是全省重要的交通枢纽,并位于以郑州为中心的中原城市群都市圈的第二圈层(图1a)。市域总面积为2617 km²,包括源汇区、郾城区、召陵区、舞阳县和临颍县(图1b),其中漯河市中心城区位于市域东南部,总面积为157.9 km²。漯河市地势平坦,是一个典型的黄、淮、河冲积平原,暖湿性季风气候,常年降水量为786 mm,境内沙、澧河穿城而过,是北方少有的森林城市和水景城市,具有明显的滨河城市特色。截至2016年底,漯河市城市绿地率达到33.77%,城镇化率达到49.23%,是河南省城市绿化水平和城市化水平发展较高的城市,其适宜的城市规模和典型的平原城市特征,以及城市所处的发展阶段均较适合本文的研究主旨。

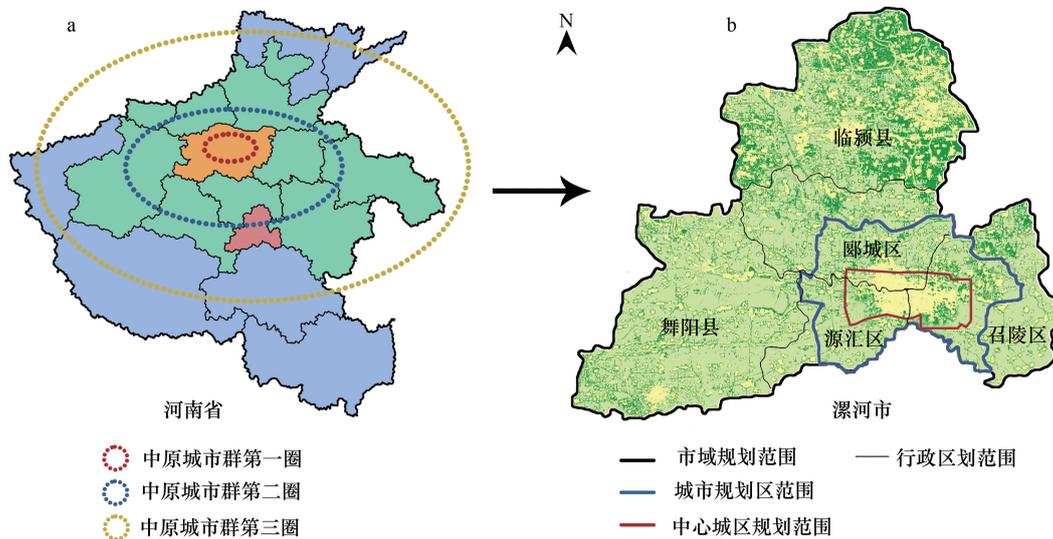


图1 漯河区位和行政区划图

Fig.1 Location and administrative districts of Luohe in China

1.2 数据来源与处理

本文所用基础数据主要来自于无人机航测获取的漯河市中心城区的航空影像(空间分辨率为 0.09 m, 投影坐标系为 WGS_1984_Transverse_Mercator), 采集影像的时间为 2016 年 3 月份, 此时大中型落叶乔、灌木的叶子还未完全长出, 所有地物类别通过目视能清楚识别, 能更加准确的判定地物类别的边界轮廓, 减少了因大中型乔、灌木覆盖产生的误差。地形图(1:10000)、《漯河市城市总体规划(2005—2020)》和 Google 地图作为人工解译无人机影像的辅助数据和图像资料来源。具体图像解译和数据处理方法: 1) 影像处理: 在 ArcGIS 10.2 中对无人机影像进行几何校正和裁剪, 结合实地调查验证, 对其进行目视解译, 形成土地利用类型的矢量数据 shapefile 文件; 2) 数据处理: 对上一步的矢量数据进行拓扑纠错, 校正出现重叠和缝隙的区域, 最后将 shapefile 文件转化为不同像元大小的 Grid 格式文件, 导入 Fragstats 4.2 进行景观格局指数的计算。根据土地利用现状分类(GB-T 21010—2007)^[23], 结合土地的透水性质、利用方式及表现特征, 将漯河市土地利用类型分为: 透水性地面(包括绿地、水域和农田)、不透水性地面(包括道路、建筑和广场)和未利用土地(包括荒地和裸土地) 3 大类 7 小类(如图 2)。

1.3 空间粒度的设定

以往研究学者^[4,7,24-25]一般以 10、20 m 和 30 m 的步长选取粒度, 本文根据影像精度和现状情况, 在 1—15 m 范围内, 按照 1 m 的步长选取粒度^[26], 在 15—100 m 范围内, 按照 5 m 的步长选取粒度, 在 100—300 m 范围内, 按照 10 m 的步长选取粒度, 结果得到具有代表性的 52 个不同像元大小的栅格数据图(图 3), 并分别计算不同粒度下的景观格局指数, 以求获得更加准确的城市尺度土地利用景观格局动态变化过程。

1.4 空间幅度的设定

本文在对粒度效应进行研究的基础上, 分别对 3 m×3 m, 35 m×35 m, 60 m×60 m 3 种粒度下的幅度效应进行研究, 并按照 0.5 km 的步长设定幅度间隔, 具体做法为: 在 ArcGIS 10.2 中找出漯河市中心城区的几何中心, 从几何中心开始, 按照 0.5 km 的步长逐渐增加幅度, 最小幅度为 0.5 km×0.5 km 的正方形, 最大幅度为 19.5 km×19.5 km 的正方形, 结果得到具有代表性的 39 个不同幅度大小的矢量数据图, 覆盖整个研究区域(图 4)。

1.5 景观指数的选择

根据国内外学者^[10,27-31]的相关研究成果, 并结合漯河市中心城区的景观特点, 分别在景观水平和斑块类型水平上选取能够表征景观优势度、破碎度、形状特征、分布特征、多样性和聚集度特征的景观格局指数, 来分

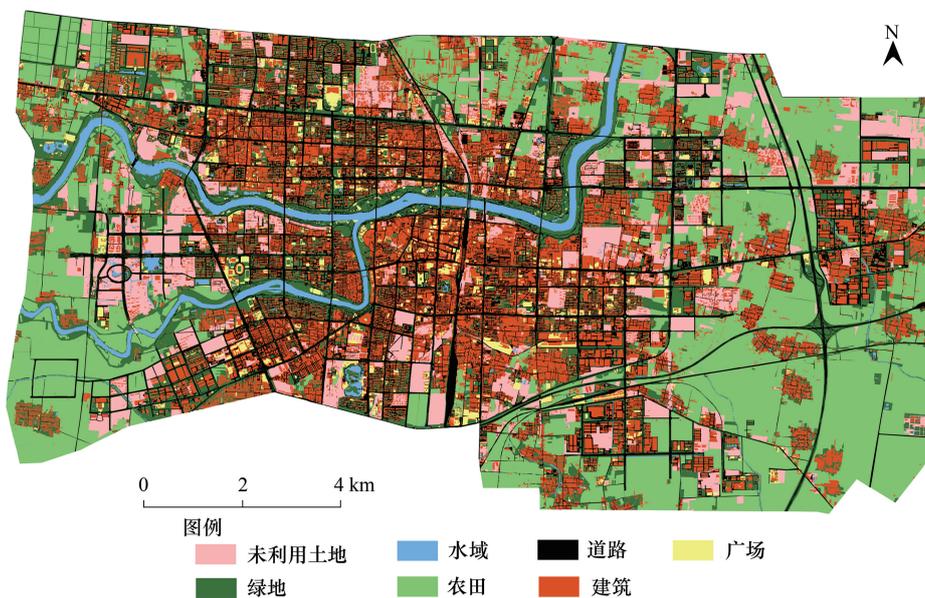


图2 土地利用类型图

Fig.2 Map of land use classification

来源:城乡绿地资源建设与管控课题组

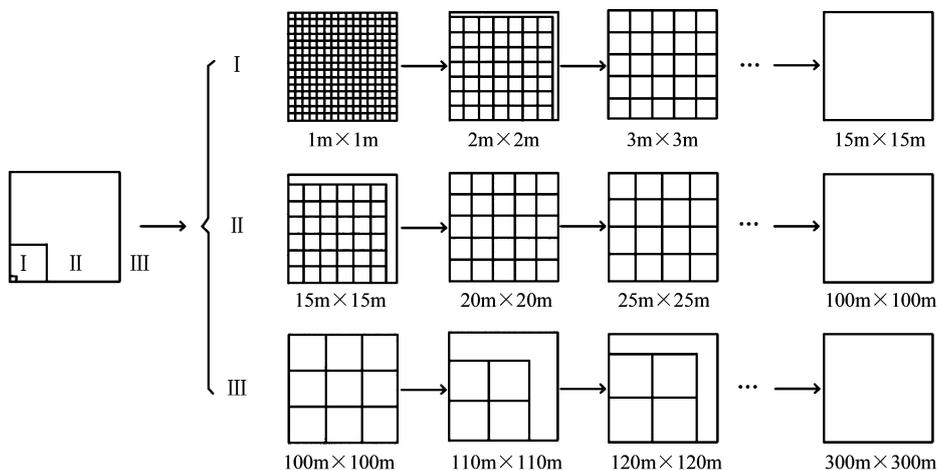


图3 空间粒度的设定与变化示意图

Fig.3 Schematics diagram of spatial grain setting and changing

析漯河市景观格局在不同尺度上的变化特征。其中,景观水平上选取最大斑块指数(LPI)、斑块密度(PD)、景观形状指数(LSI)、蔓延度指数(CONTAG)、Shannon 多样性指数(SHDI)和聚集度指数(AI);斑块类型水平上选取景观斑块面积百分比(PLAND)、最大斑块指数(LPI)、斑块密度(PD)、景观形状指数(LSI)和聚集度指数(AI)。景观指数的计算通过 Fragstats 4.2 软件实现,所选取的景观格局指数计算方法及生态学意义见软件使用说明及文献^[32]。

2 结果与分析

2.1 景观格局指数的粒度效应

2.1.1 景观水平指数对粒度变化的响应

最大斑块指数(图 5a)在 1—45 m 的空间粒度范围内,随粒度的增加呈减小的变化趋势,在空间粒度为

45 m时,其值降到最低,说明在此空间粒度范围内,随着粒度的增加,景观中具有优势的大型景观斑块发生了断裂,随后在 45—60 m 的空间粒度范围内,其值随粒度的增加而增加,在 60 m 处出现峰值,在大于 60 m 的空间粒度范围内呈现上下波动的变化趋势,说明随着粒度的继续增加,小型景观斑块发生了重组,在粒度为 60 m 处出现最大斑块,之后重复断裂—重组过程;斑块密度(图 5b)在 1—3 m 的空间粒度范围内随粒度的增加而增加,在大于 3 m 的空间粒度范围内随粒度的增加而快速降低,在大于 95 m 之后逐渐趋于平稳,说明当粒度为 3 m 时,斑块密度最大,景观破碎度最大,之后随着粒度的增加,斑块的重组,景观破碎度降低;景观形状指数(图 5c)随粒度的增加逐渐降低,最终趋于平稳,说明随着粒度的增加,小型斑块被吞并融合成为大型斑块,整体景观形状变的简单;蔓延度指数(图 5d)和聚集度指数(图 5e)随粒度的增加而逐渐下降,说明在较小粒度下景观中某些斑块类型形成了良好的连通性,并且聚集度较高,但是随着粒度的增加,这些斑块间的连通性逐渐减弱,聚集度降低;Shannon 多样性指数(图 5f)在 1—30 m 的粒度范围内较稳定,基本无变化,当粒度大于 30 m 后,其值随粒度的增加呈现波幅增大的波动变化趋势。

2.1.2 斑块类型水平指数对粒度变化的响应

景观斑块面积百分比的变化趋势显示(图 6a),在 1—35 m 粒度范围内,各景观斑块面积百分比无显著变化,且各土地利用类型所占百分比由大到小依次为:农田>建筑>绿地>道路>未利用土地>水域>广场。当粒度大于 35 m 后,其值随粒度的增加呈现波幅增大的波动变化趋势。说明 35 m 是研究景观构成的最大粒度阈,超出这个粒度范围误差便会增大。

最大斑块指数的变化趋势显示(图 6b),农田和道路的空间粒度效应最显著,是造成景观水平上景观优势度发生变化的主导因素。当空间粒度小于 35 m 时,道路的最大斑块指数随粒度的增大快速下降,农田则呈相反的变化趋势,且在空间粒度为 35 m 时,出现了交点,说明随粒度的增加,道路景观的优势度在下降,农田景观的优势度在增加,并在 35 m 处,发生了优势互换,成为最大斑块类型。其他景观的最大斑块指数在粒度小于 35 m 时,均小于道路和农田,且随粒度的增加处于较稳定状态,在 35 m 之后则有一定程度的增加和波动。

斑块密度的变化趋势显示(图 6c),除建筑的斑块密度随空间粒度的增加逐渐降低之外,其他各类用地的斑块密度均随空间粒度的增加呈现先上升后下降的变化趋势。建筑、道路和绿地景观的斑块密度变化幅度较大,说明这三类景观的破碎度较大,并随粒度的增加而减小,且在大于 2 m 的空间粒度范围内,绿地>建筑>道路。但是,绿地和道路景观分别在 1—3 m 和 1—9 m 粒度范围内随粒度的增加其景观破碎度增大,这是造成景观水平上斑块密度在 1—3 m 空间粒度范围内出现短暂上升的主要原因。

景观形状指数随着空间粒度的增加呈现显著下降后趋于平稳的变化趋势(图 6d),且由大到小依次为:道路>绿地>建筑>广场>未利用土地>农田>水域。变化最大的是道路、绿地和建筑,说明在接近真实景观的情况下,道路、绿地和建筑景观的形状最为复杂,随着粒度的增加,相同斑块的融合,景观形状逐渐趋于规则。

聚集度指数随着空间粒度的增加呈显著下降的变化趋势(图 6e),说明随着粒度的增加,各类景观聚集度下降,尤其是广场,由于其点状散布的特征,在粒度增大的情况下,聚集度下降较快,农田斑块面积较大,分布最为集中,粒度的增大对其聚集度影响最小。

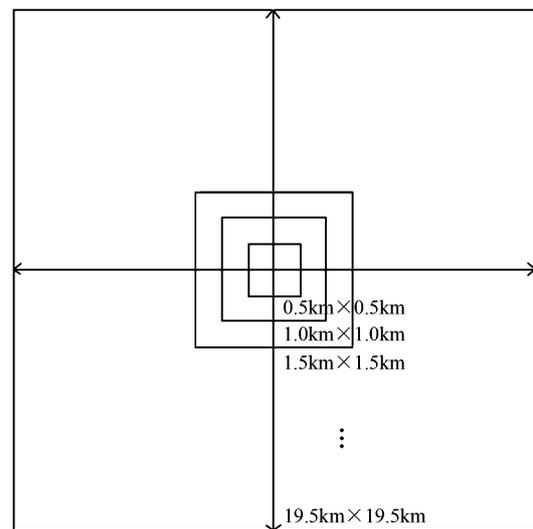


图 4 空间幅度的设定与变化示意图

Fig.4 Schematics diagram of spatial extent setting and changing

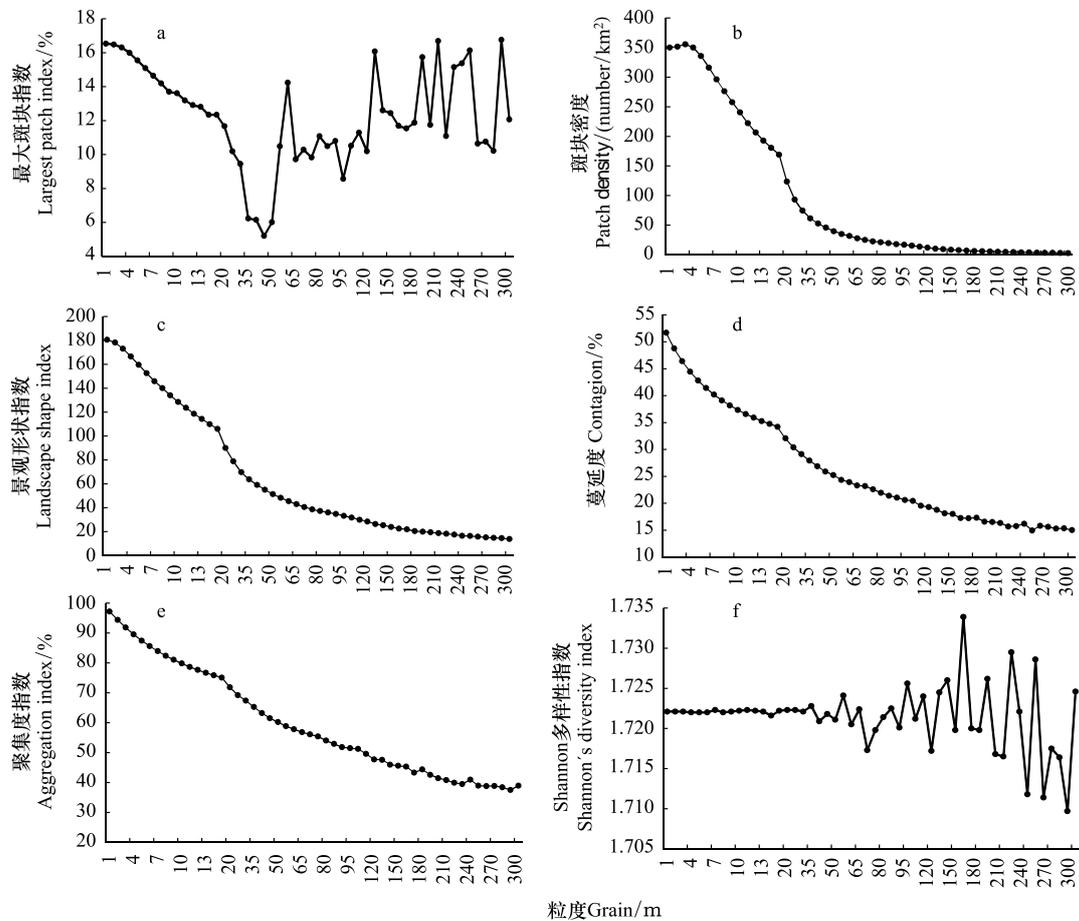


图5 景观水平指数对粒度变化的响应

Fig.5 Character of landscape indexes response to grain variance

2.2 景观格局指数的幅度效应

2.2.1 景观水平指数对幅度变化的响应

为了探究不同粒度下的幅度效应,本文对比分析了3种粒度(3,35,60 m)情况下景观格局的幅度效应,结果如图7所示。最大斑块指数整体上呈随幅度的增大而减小的变化趋势(图7a),且在大于2 km的空间幅度范围内,3 m 粒度下的 LPI 值大于另外两种粒度,说明粒度越小,景观优势度越明显。在1.5—2.5 km的空间幅度范围内,LPI 值呈现与总体趋势相反的变化趋势,这可能是由于该空间幅度范围内某种景观类型的大量出现导致的。当空间粒度为35 m 和60 m 时,LPI 值的波动幅度较大,不如3 m 粒度下表现的稳定;斑块密度的变化趋势显示(图7b),3 m 粒度下,PD 值的变化趋势较明显,呈先降后升再下降的趋势,在2—5.5 km 的空间幅度范围内,PD 值的升高,可能是由于某种景观的破碎度增强所致;景观形状指数的变化趋势显示(图7c),随空间幅度的增加,LSI 值逐渐增大,景观形状越来越复杂,且在3 m 粒度下 LSI 值比另外两种粒度下小,变化比其他两种粒度下更稳定;蔓延度指数的变化趋势显示(图7d),随空间幅度的增加总体上呈先下降后稳定的趋势,并在3—3.5 km 的空间幅度范围内呈短暂上升的变化趋势,说明随着空间幅度的增加,景观斑块间的连通性有所降低。3 m 粒度下,CONTAG 值比另外两种粒度下高,说明粒度越小,斑块缺失越少,斑块间的连通性越好;聚集度指数的变化趋势也显示(图7e),3 m 粒度下,AI 值较高,斑块的聚集性较强;Shannon 多样性指数的变化趋势显示(图7f),景观多样性随空间幅度的增加逐渐增加,并在大于10 km 范围内趋于稳定,景观构成类型不再增加。综上,比较3种粒度下景观格局幅度效应指数随幅度变化特征可以看出,3 m 粒度最佳,因此,斑块类型水平上的景观格局研究将在3 m 粒度下进行。

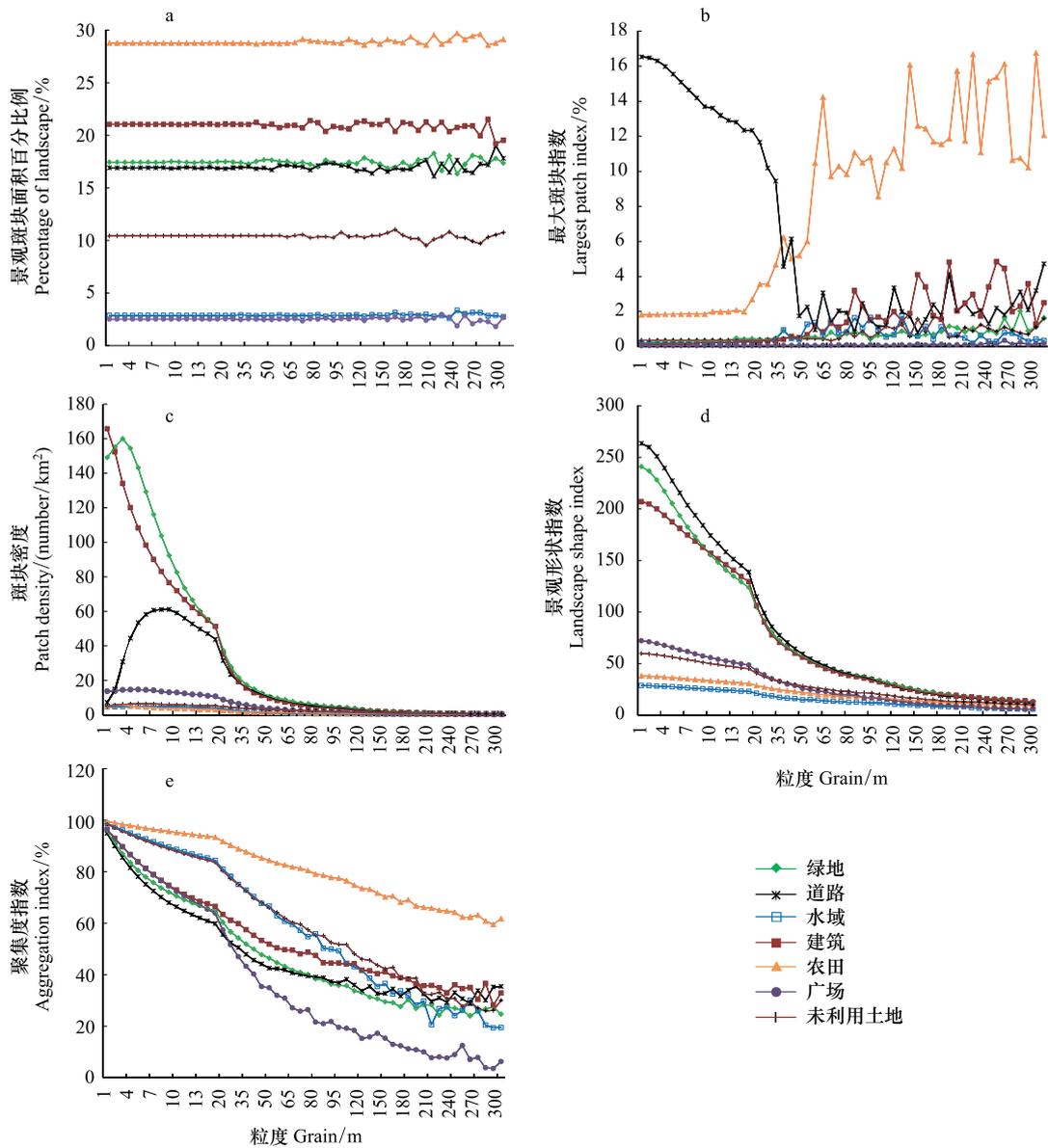


图 6 不同土地利用类型的空间粒度效应

Fig.6 Spatial grain size effects of different land use classifications

2.2.2 斑块类型水平指数对幅度变化的响应

景观斑块面积百分比的变化趋势显示(图 8a),随空间幅度的增加,道路和建筑所占比例逐渐降低;绿地逐渐增加,并在空间幅度大于 6 km 后趋于稳定;广场和水域则先增后减,最终均在 6 km 处趋于稳定;未利用土地的变化较复杂,分别在 1.5 km 和 7.5 km 处出现峰值,最终在 8.5 km 处趋于稳定;农田景观从空间幅度为 3.5 km 时开始出现,随幅度的增加呈持续上升的变化趋势,且在 6.5 km 处超过水域和广场,8.5 km 处超过未利用土地,11 km 处超过绿地,13 km 处超过道路,15.5 km 处超过建筑,具有明显的尺度推移特征和幅度效应。

最大斑块指数的变化趋势显示(图 8b),道路景观的 LPI 值最大,且道路和建筑景观的 LPI 值变化趋势与景观水平上的总体变化趋势一致,均随空间幅度的增加呈先减小再增加再减小的变化趋势;绿地和广场景观的 LPI 值则随空间幅度的增加波动式下降,未利用土地和水域随空间幅度的增加呈先增加后减小的变化趋势,且最大值分别在 1 km 和 2 km 处;农田景观则在空间幅度为 3.5 km 处开始出现,然后随空间幅度的增加呈缓慢增加的变化趋势。

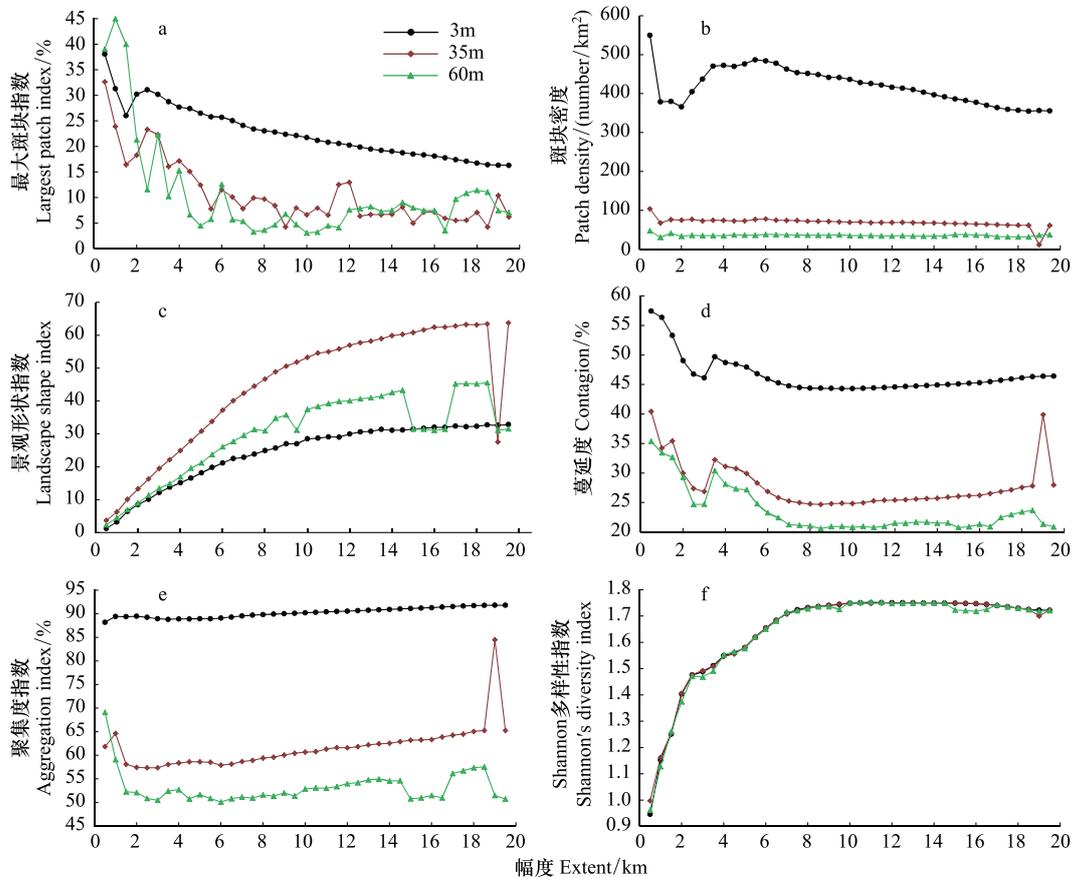


图7 不同粒度下景观水平指数对幅度变化的响应

Fig.7 Character of landscape indexes response to extent variance under different grain size

斑块密度的变化趋势显示(图 8c),变化幅度最大的就是绿地、建筑和道路,且随空间幅度的增加均呈现先降低后增加再降低的变化趋势。1 km 空间幅度下,建筑和道路的斑块密度最大,其次是绿地,之后随着绿地斑块密度的快速增加,在 2.5 km 之后,绿地的斑块密度大于建筑,并在 5.5 km 处达到最大值。说明在中心城区 2.5—5.5 km 范围内绿地景观破碎度较大,且呈上升趋势,在未来绿地系统规划中需加强城市内部绿地空间的建設。

各类用地的景观形状指数随着空间幅度的增加呈现先上升后趋于稳定的变化趋势(图 8d),且变化由大到小依次为:道路>绿地>建筑>广场>未利用土地>农田>水域,道路、绿地和建筑的景观形状指数远远大于其他用地类型的景观形状指数,说明在城市范围内,道路、绿地和建筑的形状最为复杂。

聚集度指数随着空间幅度的增加基本呈现为先上升后基本保持不变的变化趋势(图 8e),其中建筑、道路和广场在 1 km 的空间幅度范围内的城市中心区域聚集度最高,水域、绿地和未利用土地的聚集度指数在 2.5 km 以内增加趋势最为显著,农田景观在 3.5 km 后才开始聚集,并在空间幅度大于 8.5 km 之后成为聚集度最高的一类用地。

3 讨论

3.1 漯河市土地利用景观格局的尺度效应

3.1.1 景观格局的粒度效应

通过对景观格局指数粒度效应的分析结果可以看出,漯河市土地利用景观格局存在显著的空间粒度效应。从景观水平上来看(图 5),空间粒度越小,景观指数的响应越强烈,且在 35 m 粒度内其变化趋势表现较

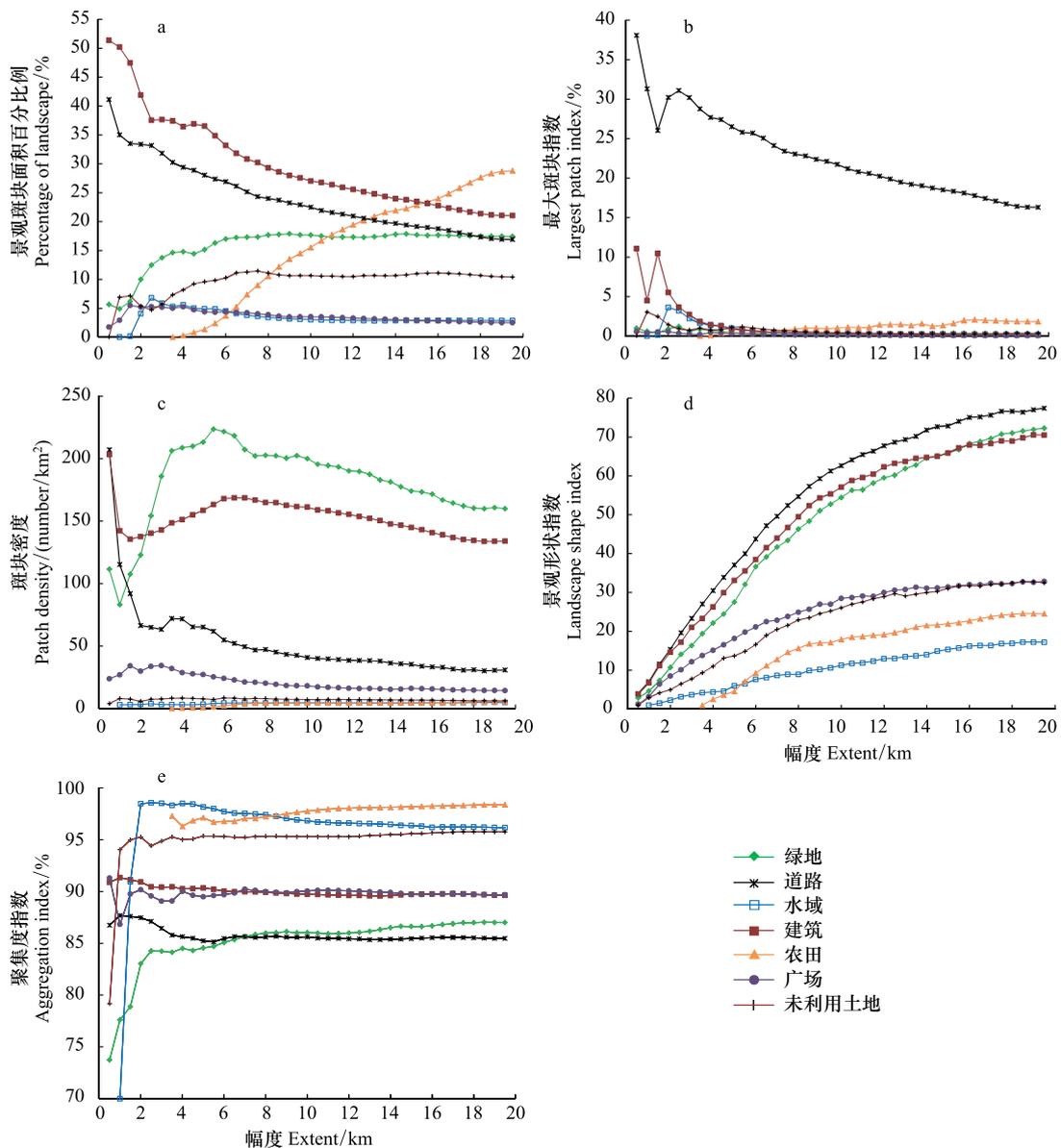


图 8 不同土地利用类型的空间幅度效应

Fig.8 Spatial extent effects of different land use classifications

稳定。说明在进行景观格局的空间粒度效应研究时,所选取影像的精度不能低于 35 m,且越高越好。因为随着空间粒度的增加,景观斑块会发生一定的断裂缺失和重组,导致结果反映不够真实。从斑块类型水平上看,各景观斑块所占比例的变化趋势也验证了 35 m 为进行该类研究的临界值(图 6a)。最大斑块指数的结果显示(图 6b),农田和道路的空间粒度效应最显著,亦是造成景观水平上该指数发生变化的主要原因,且随空间粒度的增加,具有线状特征的道路景观优势度逐渐降低,而具有面状特征的农田斑块优势度逐渐上升。说明随着空间粒度的增大,小型线状斑块会受到斑块断裂、消失和重组的影响,进而影响整体景观格局的变化。这些现象在以往的研究中由于影像精度的原因而未被揭示^[25,33-34]。斑块密度的结果显示(图 6c),建筑、道路和绿地景观的破碎度对粒度变化的响应最显著,其中建筑景观的破碎度随空间粒度的增大逐渐降低,绿地和道路景观的破碎度分别在 1—3 m 和 1—9 m 粒度范围内随粒度的增加而升高,这同时也是引起景观水平上景观破碎度在 3 m 粒度处有所增加的主要原因,与其他研究学者逐渐降低的结果有所不同^[30]。这三类景观的形状指数变化幅度也最大(图 6d),且随粒度的增加,其形状趋于规则。各类景观的聚集度指数(图 6e)也随粒

度的增加呈下降趋势,尤其是小型点状分布的斑块受到的影响较大。根据这些指数在 3,35 m 和 60 m 粒度处出现显著变化的特征,可将研究粒度效应的适宜尺度阈定为 1—3,3—35 m 和 35—60 m,且粒度越小,各类型景观格局指数的表现越接近真实情况,结合赵文武等^[35]的研究结果,可将第一尺度阈中等偏大的 3 m 粒度确定为最佳粒度。

3.1.2 景观格局的幅度效应

本文在粒度效应研究的基础上,在 3 m×3 m、35 m×35 m 和 60 m×60 m 粒度处分别研究了景观格局的幅度效应,结果发现在 3 m×3 m 的最佳粒度下,景观格局的幅度效应最显著,变化趋势更稳定,验证了 3 m 粒度为最佳粒度的结果,且随着空间幅度的增加,景观水平上,景观优势度(图 7a),破碎度(图 7b),蔓延度(图 7d)逐渐降低,说明随着空间幅度的增加,景观构成比例逐渐均衡,城市中心地区景观破碎度和蔓延度较高,而随着城市外围大型斑块的加入,景观破碎度和蔓延度逐渐降低。景观形状指数、聚集度指数和 Shannon 多样性指数逐渐增加,说明随着空间幅度的增加,景观复杂程度、聚集度升高,景观构成类型逐渐增加,并在一定幅度下趋于稳定。斑块类型水平上,随着空间幅度的增加,各类景观呈现出明显的尺度推移和梯度变化特征。由市中心向外,建筑和道路景观所占比例依次降低,绿地、农田和未利用土地依次升高(图 8a),从市中心向外呈现出建筑—绿地—农田的景观分布特征,这与以往学者的研究结果相似^[10,36-37]。另外,从我们的研究中还发现,所有景观指数的变化趋势均在 6 km 范围之外趋于稳定,这与漯河市当前城市发展规模有关,道路景观因其线性、覆盖面广、连通性强的特征,其景观优势度最大,景观形状最复杂,聚集度最弱。在 0.5—5.5 km 空间幅度范围内,绿地景观破碎度快速升高,聚集度也较弱,因此,在未来的城市绿地系统规划中应加强城市中心区域绿色生态廊道的建设,从而提高该范围内绿地景观的连通性,降低其破碎度。

3.2 无人机航测在景观格局尺度效应研究中的应用前景

随着社会科学技术不断的发展和进步,互联网、大数据和无人机航测先后应运而生,高精度数据的获取、海量数据的存储管理与应用逐渐成为当下热点。在这样的背景下,本研究课题组率先利用无人机航测技术对漯河市这一中等规模的城市进行多次测量和数据库的建设,以期个城市的发展和政府决策的制定提供更全面、更有力的数据支撑。

以往学者^[7-8]利用传统影像按照均匀较大的步长分割空间粒度,得到的最佳分析粒度和所用影像分辨率基本相似,包括 10^[38]、10、32 m 和 128^[8]、35^[33]、40^[4]、100 m^[34]等,这可能是由于受粒度步长和分辨率的限制,遗失了较小粒度上景观的变化过程和丢失了一些小型地物的信息,不能全面的反应城市景观格局的真实景观情况。而本文的研究则是基于这一高精度影像对地物景观格局信息的提取与分析,根据粒度生成的强弱,提取不均等步长粒度信息,与通过卫星手段获取影像的手段相比,不仅将数据精度从 0.61 m 提高至 0.09 m,而且根据这些数据空间上的变化规律,得出了 35 m 为进行景观格局粒度效应研究的临界值,3 m 则为进行粒度效应研究的最佳粒度,且揭示了从市中心向外呈现出建筑—绿地—农田的景观分布特征,以及绿地景观在城市中心区域破碎度较高、是影响整体景观格局的重要因素的规律。在下一步研究中,我们还将对绿地景观格局进行更细致和多时段的研究,从而找出最佳优化位置和优化方法,为规划提供科学指导。因此,无人机航测技术必将随着社会发展需求的增加,在规划领域有重要的应用前景。

4 结论

本文以中国中东部地区中等规模的平原城市漯河市为研究对象,率先基于无人机航测影像量化分析了景观格局的尺度效应,并得出了以下结论:

漯河市中心城区土地利用景观格局具有明显的尺度(粒度和幅度)效应。随着粒度的增加,斑块类型水平上,建筑、道路和绿地景观在景观优势度、破碎度、聚集度等方面均发生了较大的变化,进而导致景观水平上景观格局对粒度变化的响应,且从各指数变化转折点得出研究粒度效应的临界阈为 35 m,最佳粒度为 3 m。在对不同粒度下整体景观格局的幅度效应研究中,也发现了 3 m 粒度下,景观格局指数的变化和表现较为稳

定和真实,且随空间幅度的增加,景观优势度,破碎度和蔓延度逐渐降低,景观复杂程度和聚集度逐渐升高,景观构成类型趋于稳定。斑块类型水平上,6 km 幅度范围内,景观格局的幅度效应最显著,并由市中心向外呈现明显的景观梯度分布特征(不透水地面向透水地面过渡)。绿地景观在 0.5—5.5 km 范围内破碎度较大,聚集度较低,是影响整体景观格局的重要因素。绿地景观格局的优化在今后城乡可持续发展过程中至关重要。

无人机航测技术的发展和应用于本文的研究提供了强有力的数据支撑,通过对比前人利用卫星影像进行尺度效应的分析发现,高精度影像可以更快速准确地揭示城市尺度下较细微的景观格局变化过程,在未来城市更新或其他规划领域具有重要应用前景。

参考文献 (References):

- [1] Wu J G. Key concepts and research topics in landscape ecology revisited: 30 years after the Allerton Park workshop. *Landscape Ecology*, 2013, 28 (1): 1-11.
- [2] Fu B J, Liang D, Lu N. Landscape ecology: coupling of pattern, process, and scale. *Chinese Geographical Science*, 2011, 21(4): 385-391.
- [3] 邬建国. 景观生态学中的十大研究论题. *生态学报*, 2004, 24(9): 2074-2076.
- [4] 徐丽华, 岳文泽, 曹宇. 上海市城市土地利用景观的空间尺度效应. *应用生态学报*, 2007, 18(12): 2827-2834.
- [5] 邬建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级(第二版). 北京: 高等教育出版社, 2007: 17-18.
- [6] 邬建国. 景观生态学——概念与理论. *生态学杂志*, 2000, 19(1): 42-52.
- [7] 陈永林, 谢炳庚, 李晓青. 长沙市土地利用格局变化的空间粒度效应. *地理科学*, 2016, 36(4): 564-570.
- [8] 龚建周, 夏北成, 李楠, 郭添. 快速城市化地区土地覆盖景观特征的粒度效应. *生态学报*, 2006, 26(7): 2198-2206.
- [9] 孙丹峰. IKONOS 影像景观格局特征尺度的小波与半方差分析. *生态学报*, 2003, 23(3): 405-413.
- [10] 唐玲, 谭丽, 何兴元, 李小玉, 陈玮, 张国友. 基于 Quickbird 卫星影像的沈阳城市绿地景观格局的空间幅度效应. *资源科学*, 2008, 30 (9): 1415-1420.
- [11] 张志明, 徐倩, 王彬, 孙虎, 耿宇鹏, 田冀. 无人机遥感技术在景观生态学中的应用. *生态学报*, 2017, 37(12): 4029-4036.
- [12] Whitehead K, Hugenholtz C H. Remote sensing of the environment with small unmanned aircraft systems (UASs), part 1: a review of progress and challenges. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 2014, 2(3): 69-85.
- [13] 胡健波, 张健. 无人机遥感在生态学中的应用进展. *生态学报*, 2018, DOI: 10.5846/stxb201612092538.
- [14] Puliti S, Ørka H O, Gobakken T, Næsset E. Inventory of small forest areas using an unmanned aerial system. *Remote Sensing*, 2015, 7(8): 9632-9654.
- [15] Zweig C L, Burgess M A, Percival H F, Kitchens W M. Use of unmanned aircraft systems to delineate fine-scale wetland vegetation communities. *Wetlands*, 2015, 35(2): 303-309.
- [16] Getzin S, Nuske R S, Wiegand K. Using unmanned aerial vehicles (UAV) to quantify spatial gap patterns in forests. *Remote Sensing*, 2014, 6 (8): 6988-7004.
- [17] Chabot D, Bird D M. Small unmanned aircraft: precise and convenient new tools for surveying wetlands. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 2013, 1(1): 15-24.
- [18] Diaz-Varela R A, Zarco-Tejada P J, Angileri V, Loudjani P. Automatic identification of agricultural terraces through object-oriented analysis of very high resolution DSMs and multispectral imagery obtained from an unmanned aerial vehicle. *Journal of Environmental Management*, 2014, 134: 117-126.
- [19] Ouédraogo M M, Degré A, Debouche C, Lisein J. The evaluation of unmanned aerial system-based photogrammetry and terrestrial laser scanning to generate DEMs of agricultural watersheds. *Geomorphology*, 2014, 214: 339-355.
- [20] Xiang H T, Tian L. Development of a low-cost agricultural remote sensing system based on an autonomous unmanned aerial vehicle (UAV). *Biosystems Engineering*, 2011, 108(2): 174-190.
- [21] Rango A, Laliberte A, Herrick J E, Winters C, Havstad K, Steele C, Browning D. Unmanned aerial vehicle-based remote sensing for rangeland assessment, monitoring, and management. *Journal of Applied Remote Sensing*, 2009, 3(1): 033542.
- [22] Feng Q L, Liu J T, Gong J H. UAV remote sensing for urban vegetation mapping using random forest and texture analysis. *Remote Sensing*, 2015, 7(1): 1074-1094.
- [23] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 21010-2007 土地利用现状分类. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [24] 崔步礼, 常学礼, 左登华, 宋芙蓉. 沙地景观中矢量数据栅格化方法及尺度效应. *生态学报*, 2009, 29(5): 2463-2472.

- [25] 孟陈, 李俊祥, 朱颖, 吴彤, 肖志坚, 张国科. 粒度变化对上海市景观格局分析的影响. 生态学杂志, 2007, 26(7): 1138-1142.
- [26] 申卫军, 邬建国, 林永标, 任海, 李勤奋. 空间粒度变化对景观格局分析的影响. 生态学报, 2003, 23(12): 2506-2519.
- [27] 吴未, 范诗薇, 许丽萍, 张敏, 欧名豪. 无锡市景观指数的粒度效应研究. 自然资源学报, 2016, 31(3): 413-424.
- [28] Plexida S G, Sfougaris A I, Ispikoudis I P, Papanastasis V P. Selecting landscape metrics as indicators of spatial heterogeneity—a comparison among Greek landscapes. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2014, 26: 26-35.
- [29] 冀亚哲, 张小林, 吴江国, 李红波. 多空间粒度下镇江市土地利用景观格局差异. 中国土地科学, 2013, 27(5): 54-62.
- [30] Wu J G. Effects of changing scale on landscape pattern analysis; scaling relations. *Landscape Ecology*, 2004, 19(2): 125-138.
- [31] 申卫军, 邬建国, 任海, 林永标, 李明辉. 空间幅度变化对景观格局分析的影响. 生态学报, 2003, 23(11): 2219-2231.
- [32] Schindler S, Poirazidis K, Wrbka T. Towards a core set of landscape metrics for biodiversity assessments; a case study from Dadia National park, Greece. *Ecological Indicators*, 2008, 8(5): 502-514.
- [33] 张玲玲, 史云飞, 刘玉华. 空间粒度变化对沂蒙山区景观格局指数的影响. 生态学杂志, 2013, 32(2): 459-464.
- [34] 郭琳, 宋戈, 张远景, 王盼盼. 基于最佳分析粒度的巴彦县土地利用景观空间格局分析. 资源科学, 2013, 35(10): 2052-2060.
- [35] 赵文武, 傅伯杰, 陈利顶. 景观指数的粒度变化效应. 第四纪研究, 2003, 23(3): 326-333.
- [36] 徐建华, 岳文泽, 谈文琦. 城市景观格局尺度效应的空间统计规律——以上海中心城区为例. 地理学报, 2004, 159(6): 1058-1067.
- [37] 邱文泽. 基于遥感影像的城市景观格局及其热环境效应研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2005.
- [38] 潘竟虎, 李璟. 河谷型城市城乡结合部景观格局空间尺度效应分析——以兰州市西固区土地利用格局为例. 生态与农村环境学报, 2010, 26(2): 114-119.