



土地利用景观格局核心指数提取:以中国广州市为例

田晶^{1,2,3} 邵世维⁴ 黄怡敏¹ 余梦婷¹

1 武汉大学资源与环境科学学院,湖北 武汉,430079

2 武汉大学地理信息系统教育部重点实验室,湖北 武汉,430079

3 武汉大学数字制图与国土信息应用工程国家测绘地理信息局重点实验室,湖北 武汉,430079

4 武汉市国土资源和规划信息中心,湖北 武汉,430014

摘要: 景观格局是研究景观功能和动态的基础。景观指数分析在土地利用/土地覆盖、生态系统服务、森林监控、城市蔓延以及生物多样性等方面应用广泛。现有许多景观指数之间存在不同程度的相关性,不仅导致信息冗余,还将影响结果解译的清晰性和准确性。同时,已有研究主要针对栅格数据,针对矢量数据的景观指数分析研究较少。为解决上述问题,以广州市土地利用景观格局为例,在矢量数据格式下计算了44个常用的景观指数,并运用相关分析和因子分析相结合的多元统计分析法,提取了6个核心景观指数,这些指数描述了广州市土地利用景观格局的6个维度:景观破碎度、平均斑块面积、平均形状复杂度、空间分散度、形状复杂度差异和土地类型的相似性。

关键词: 景观指数;相关分析;因子分析;土地利用;矢量数据

中图分类号:P208;P273 **文献标志码:**A

景观格局一般指景观的空间格局,既是大小和形状各异的景观要素在空间上的排列和组合,又是景观异质性的具体体现,也是各种生态过程在不同尺度上作用的结果^[1]。分析景观格局要考虑景观及其单元的拓扑特征,包括景观组成单元的类型、数目及空间分布与配置,比如不同类型的斑块可在空间上呈随机型、均匀型或聚集型分布。景观格局分析的目的是为了在看似无序的景观中发现潜在的有意义的秩序或规律^[2]。景观指数是反映景观结构组成和空间配置的定量指标,景观指数分析法是景观生态学领域常用的分析景观格局以及度量空间异质性的重要方法,是适合定量表达景观格局和生态过程之间关联的空间分析方法^[3]。现有景观指数的数量已超过250种^[4],许多指数间存在不同程度的相关性,表达景观格局信息的重叠量高,不仅导致大量冗余,还将影响结果解译的清晰性和准确性。

目前,大部分景观格局分析的研究均使用栅格数据(多为遥感影像),直接针对矢量数据计算

景观指数进而进行分析的研究^[5]较少。矢量数据是一种常用数据格式,很多地理信息数据库是以矢量格式存储的,例如土地利用现状图、行政区划图和地籍图等。与栅格数据不同的是,矢量数据中每个对象都是一个实体,空间数据拓扑关系清晰,图形显示质量好、精度高,能实现图形数据的恢复、更新和综合^[6]。一些研究将矢量数据转换为栅格数据后再计算景观指数^[7],尽管矢栅转换技术成熟,由于转换中存在一些问题,如受栅格分辨率限制,不可避免地降低了计算结果的精确性。因此,直接针对矢量数据计算景观指数很自然地成为解决这一问题的途径。

以矢量格式表达的土地利用图是调整土地利用结构,因地制宜进行农业、工矿业、交通布局、城镇建设、区域规划、国土整治和农业区划等的一项重要科学依据^[8-10]。随着景观生态理论与GIS技术的发展,有研究运用景观指数从中观或宏观层面对土地利用现状进行量化表达^[11-16]。如文献[11]提出了应用景观指数量化土地利用对区域和

全球气候的影响,同时提供了监测区域生物多样性的潜在方法;文献[12]分析了Granada城市扩张过程中土地利用的变化情况,通过景观指数评估3种预测的城市土地格局;文献[13]利用遥感影像和形状景观指数定量分析了中国南部土地利用特征,发现形状景观指数的应用有助于增加土地利用分类系统的精确性和智能性;文献[14]建立了区域性土地利用模型研究土地利用的竞争因素,并通过案例验证了该模型可解决不同土地类型间的空间布局和相容性问题;文献[15]的研究基于粗糙集理论和突变级数法,分区域研究了长江三角洲地区的城市化和工业化对土地利用变化和城市生态进程的影响。从景观分析的角度研究土地利用现状,对土地效益的评价与提高^[16-18]、资源型城市规划布局^[19-20],以及生态城市的可持续发展^[21-22]等方面具有重要意义。

本文主要针对如下两个问题提出解决方法:(1)对于现有大量景观指数间存在不同程度的相关性而导致的数据冗余问题,本文以景观指数在土地利用景观格局的应用为例,从描述大量冗余信息的景观指数中提取具有代表性的核心景观指数集合。(2)现有多数研究针对栅格数据进行景观指数分析,很多地理信息数据库是以矢量格式存储的,矢栅转换将导致计算结果精确性降低,因此直接针对矢量数据计算景观指数很自然地成为解决这一问题的途径。与已有研究的主要区别在于本文针对矢量数据格式进行分析。

从大量的景观指数中提取描述景观格局的核心指数的方法主要有6类^[23]:(1)随机法,文献[23]从52个景观指数中随机选取3个,生成了7 000种随机组合,再通过实验分析选择最优组合作为关键指数集合。(2)经验法,文献[23]采集了105名景观生态学领域的专家所认可的核心景观指数,根据专家经验判定、选取构成核心集合的景观指数。(3)决策树法,文献[24]用决策树避免特殊的数据样本所导致的模型的过度拟合问题,并通过预测指标随机化过程确定最重要的预测变量作为核心指数。(4)主成分回归分析法,文献[25]基于景观指数因子分析的结果,采用前3个主成分载荷最高的指数代表该主成分,在后续分析中代替该主成分的其余相关变量直接使用。(5)穷举法,文献[23]分析了52个景观指数所有可能的组合,在169万种组合中找出最优的核心指数集合。(6)因子分析法^[23,26-31],运用相关分析排除高度相关的景观指数之后,进行因子分析,以

因子载荷最高的指数作为代表,达到景观指数降维的目的。

随机法与穷举法需检测大量景观指数的组合,对于较大数据量,该方法可行性较低^[32]。经验法是一种定性方法,相关领域的专家对景观指数的数学含义、内在联系以及景观指数与考察对象的关系等方面的理解有所差异^[23],而且专家的选择受多种复杂因素干扰,例如景观指数的尺度效应^[33-35]。那么,采用较为客观的数学统计方法从数据中直接获得有效信息成为了很自然的思路。决策树、主成分回归分析与因子分析均可减少景观指数冗余^[25],决策树法对数据中特定样本进行预测,随机化过程需要借助其他统计开发工具(如R软件^[36])通过编程实现^[23-24],步骤相对复杂;主成分回归分析是在因子分析的基础上进一步筛选指定数目的核心指数,适用于已指定因子数或因子数较多的情况^[23,25]。

在科学引文索引扩展版(Science Citation Index Expanded,SCIE)、社会科学引文索引(Social Science Citation Index,SSCI)、艺术与人文科学引文索引(Arts and Humanities Citation Index,A&HCI)、会议录索引(Conference Proceedings Citation Index,CPCI)数据库中检索2012年至2016年其余方法用于景观指数分析的文献次数,检索方法为在标题、摘要和关键词中查找“landscape metric”(景观指数)相关研究,以及分别查找“factor analysis”(因子分析)、“expert or empirical”(专家/经验)、“decision tree”(决策树)、“PCA regression”(主成分回归),检索条数约为因子分析法4 100条、经验法2 800条、决策树法2 400条、主成分回归法2 100条。对上述结果中的主要景观生态学期刊如《Landscape Ecology》(《景观生态学》)、《Ecological Indicators》(《生态指标》)、《Landscape and Urban Planning》(《景观与城市规划》)等,通过查看摘要和方法部分再次统计实际使用上述方法进行景观指数分析的研究,其中因子分析约占检索结果的50%,其余方法检索结果约占5%~25%,由此可见因子分析是该领域应用最多的方法。

综合各方法使用次数与可行性,本文采用相关分析与因子分析法相结合的探索性分析方法,对中国广州市土地利用矢量数据进行核心景观指数的提取。

1 研究区域与数据预处理

本文的研究区域广州市($22^{\circ}26' \sim 23^{\circ}56'N$, $112^{\circ}57' \sim 114^{\circ}03'E$)位于中国南部的广东省,不仅是国家历史文化名城,还是中国对外贸易的重要港口城市。广州市地处亚热带季风气候区,属于丘陵地带,珠江及其众多支流贯穿全市。

广州市土地利用类型十分丰富,共有 33 种土地类型,包括农业用地、建设用地、未利用地 3 大类。农业用地包括水田、水浇地、旱地、果园、茶园、其他园地、有林地、灌木林地、其他林地、人工牧草地、农村道路、坑塘水面、沟渠、设施农业用地、田坎共 15 类;建设用地包括采矿用地、城市、建制镇、村庄、风景名胜及特殊用地、铁路用地、公路用地、机场用地、港口码头用地、管道运输用地、水库水面、水工建筑用地共 12 类;未利用地包括其他草地、裸地、河流水面、湖泊水面、沿海滩涂、内陆滩涂共 6 类。

本文依据文献[37-39]提出的基于集合论、层次结构和土地利用类型属性的语义层次相似性矩阵,定义土地类型的语义邻近性 s_{ij} :

$$s_{ij}(c_i, c_j) = \begin{cases} \frac{l}{l + \alpha(c_i, c_j) \times d_{ai} + (1 - \alpha(c_i, c_j))d_{aj}} \\ \frac{\beta}{\beta + \alpha(c_i, c_j) \times d_{ai} + (1 - \alpha(c_i, c_j))d_{aj}} \end{cases} \quad (1)$$

$$\alpha(c_i, c_j) = \frac{d_{ai}}{d_{ai} + d_{aj}} \quad (2)$$

式中, c_i 和 c_j 为两种土地利用类型; l 为 c_i 和 c_j 的公共高级类型到顶层的最短距离(即连接边数); d_{ai} 为 c_i 和 c_j 的公共高级类型到 c_i 的最短距离; d_{aj} 为 c_i 和 c_j 的公共高级类型到 c_j 的最短距离; α 为 c_i 和 c_j 的公共高级类型到 c_i 和 c_j 的最短距离的函数;当 c_i 和 c_j 的公共高级类型为顶层时, β 表示一级类子树间的相关程度。

本文用相同尺寸的正六边形将该区域划分为多个样本单元,对每个样本单元分别计算景观指数。样本单元的分割遵循以下原则:(1)为了尽可能减小误差,需划分出足够数量的样本单元进行后续统计分析;同时考虑到景观指数计算效率与数据处理的工作量,需要协调样本的面积与数量。(2)为了避免样本面积和形状的差异对描述面积和形状特征的景观指数计算产生影响,需尽可能保证样本尺寸、形状的一致性。据此,本文将全区域划分为 1000 hm^2 的六边形单元,并且除去

所有覆盖面积小于 80% 的六边形后,最终得到 643 个符合要求的样本单元。

2 提取核心指数

综合已有方法使用的次数与可行性,本文采用相关分析与因子分析相结合的探索性分析方法进行广州市土地利用核心景观指数的提取。

Fragstats 4.2 是目前最权威的景观指数计算软件^[4],作为本文景观指数计算的参考。由于本文针对矢量数据进行研究,首先分析景观指数在栅格和矢量两种不同数据格式下的关系,发现存在 4 种对应关系,据此对 Fragstats 4.2 中景观层次的景观指数在矢量数据下的计算做出调整,在 ArcMap 10.1 下开发了相应的插件。4 种对应关系及矢量景观指数的具体修正为:(1)在栅格和矢量格式下均可计算且含义相同。此类景观指数的含义基于斑块属性而与栅格单元无关,因而无需调整,如大部分描述斑块面积与形状的指数、多样性指数等,共有 43 个。(2)在栅格和矢量格式下均可计算且含义相同,但需要对计算方式进行修正。一种需要修正的情况是将形状相关的部分景观指数如形状指数(shape index, SHAPE)、分形维数指数(fractal dimension index, FRAC)、景观形状指数(landscape shape index, LSI)等的系数 0.25(正方形)改为 0.282(圆形)^[40],此类指数共有 13 个。另一种需要修正的情况是由矢栅在斑块间距离定义上的差异所致,栅格格式下斑块边缘的距离定义为栅格单元中心的距离,取值范围大于 0;而矢量格式下斑块边缘的距离为几何最近距离,取值范围大于或等于 0,这样可能导致公式中分母为 0,因此需要对这种情况另行定义,如邻近度指数(proximity index, PROX)和相似度指数(similarity index, SIMI)等,定义相邻斑块边缘的最近距离为 1,此类指数共有 18 个。(3)在栅格和矢量格式下均可计算,但在矢量格式下无意义。此类景观指数的计算不依赖于栅格单元的属性,但其取值范围受栅格尺寸限制,含义与栅格相关,因而本文无需考虑,例如描述蔓延度、离散度的指标分割度指数、分裂度指数、有效网眼面积等,此类指数共有 8 个。(4)只能在栅格格式下计算,此类景观指数的计算基于栅格单元的属性,因而本文无需考虑,例如回旋半径和邻接指数,此类指数共有 18 个。除去情况(3)和情况(4)的 26 个指数后,其余指数中属于描述性统计的指数仅保留最常用的描述斑块平均面积和差异情况

的均值、面积加权平均值和变异系数。此外,由于样本为等面积划分,衡量样本总面积、总边长和总斑块数的指数在本文研究中意义不大,因而不予考虑。通过上述调整,最终得到44个景观指数用于本文矢量数据的计算。景观指数的分组框架参考Fragstats 4.2^[4],共有5个组别,分别为:(1)组1:面积和边界;(2)组2:形状;(3)组3:对比度;(4)组4:聚集度;(5)组5:多样性(景观指数表请联系通讯作者)。

首先对每组景观指数进行斯皮尔曼相关性分析,在相关性大于+0.9的指数对中保留其中的一个^[23, 26-28]。对于剩余的景观指数,在每组中使用因子分析^[41],选择每组载荷最高的指数进入总体分析。通过上述过程,景观指数的数量从44减少到19,然后对这19个指数进行总体分析。总体分析的过程同上(先进行斯皮尔曼相关分析,然后进行因子分析)。最后,选择每个因子中载荷最高且仅在该因子中具有较高载荷的景观指数构成核心指数集合。

3 结 果

3.1 核心指数

在总体斯皮尔曼相关性分析中,ED和CWED的相关性系数大于0.9,为了平衡对比度组的指数数量,本文选择ED。经总体因子分析提取出的6个核心景观指数TECI、AREA_AM、FRAC_AM、ENN_AM、PARA_CV和SIMI_MN达到了76.769%的累计方差贡献率,分别表示6个景观格局统计维度:景观破碎度、平均斑块面积、平均形状复杂度、空间分散度、形状复杂度变异和邻近相似度。

第1个因子在TECI和ECON_MN上具有较高的正载荷,对应的景观具有很高的边界对比度,即景观的破碎度较高。第2个因子在AREA_AM具有较高的负载荷,并在CIRCLE_AM和ED上具有较高的正载荷。第3个因子在FRAC_AM和AREA_CV上具有较高的正载荷,FRAC_AM衡量了与面积相关的平均形状复杂度,决定了斑块的形状是规则简单或错综复杂^[4],而AREA_CV为斑块面积变异系数,反映了景观中斑块面积大小的差异性,即二者分别描述了整体上景观的斑块形状与面积的复杂度。第4个因子在ENN_AM上具有较高的正载荷,ENN衡量了某斑块与同类型斑块间的最近欧氏空间距离,为聚集度组中最简单的空间分散度指标^[4]。ENN_

AM在一定程度上减弱了斑块面积对空间距离产生的影响,反映了每种土地类型斑块的分散程度。第5个因子在描述斑块的形状复杂度变异程度的PARA_CV上具有较高的正载荷,PARA是以斑块周长与面积的比值直接衡量形状复杂度的简单指标,其变异系数可描述景观中斑块形状复杂度的差异情况,结合第2个因子可说明斑块形状是土地利用中一个重要的空间属性。第6个因子在SIMI_MN上具有很高的正载荷,在描述斑块类型的空间邻近程度上,SIMI考察了一定范围内所有类型的斑块与中心斑块的相似程度,相比于仅考虑同类型斑块邻近度的PROX指标更为全面^[4],有效地反映了斑块在景观中的背景特征。分别从6个因子中选取具有最高载荷的6个景观指数:TECI、AREA_AM、FRAC_AM、ENN_AM、PARA_CV和SIMI_MN,作为代表这6个因子的核心指数集合。这6个具有最高因子载荷的景观指数均满足仅在该因子上具有较高载荷,这为采用上述核心指数代表相应的景观维度进行分析的有效性和合理性提供了支持^[26-27]。

3.2 空间分布规律

为了直观显示这6个景观指数在广州的空间分布规律,本文将6个景观指数的值映射到六边形上(见图1)。从图1可看出:(1)TECI的高值在城市的西北、东南以及中部地区分布较多,表明该地区的土地利用格局较东北、西南等区域具有更高的破碎度。景观破碎度高的地区在城市西北、东南两端出现是由于该地区以农业用地为基础,城市化使建设用地向南北扩散导致连续的农业用地被割裂。与之不同的是,中部地区有较高的破碎度则是由于建制镇和村庄交错分布在市中心周围,同时夹杂了零星的农业用地。(2)AREA_AM的高值在东北部郊区小范围出现。在广州土地利用中表现为东北部郊区的城市建设活动并不强烈,人为因素影响较弱,因而该指数值高的地区形成了少量面积较大的耕地、林地等类型斑块聚集的格局。(3)若大致将广州市整体分为南北两部分,可观察到FRAC_AM的高值主要分布在北部地区,而低值则主要集中在南部。这种分布格局反映了人为因素对土地斑块形状的影响,西南部为广州城市化进程较早的区域,基础建设较完备,为了提高土地集约利用效率,人们往往通过道路建设、合并小面积斑块等途径将各类用地改造为更规则的形状。(4)ENN_AM值的分布无明显梯度差异,说明全市各区域的空间分散度较均衡。但从图1中可看出东北部低值相对较多,

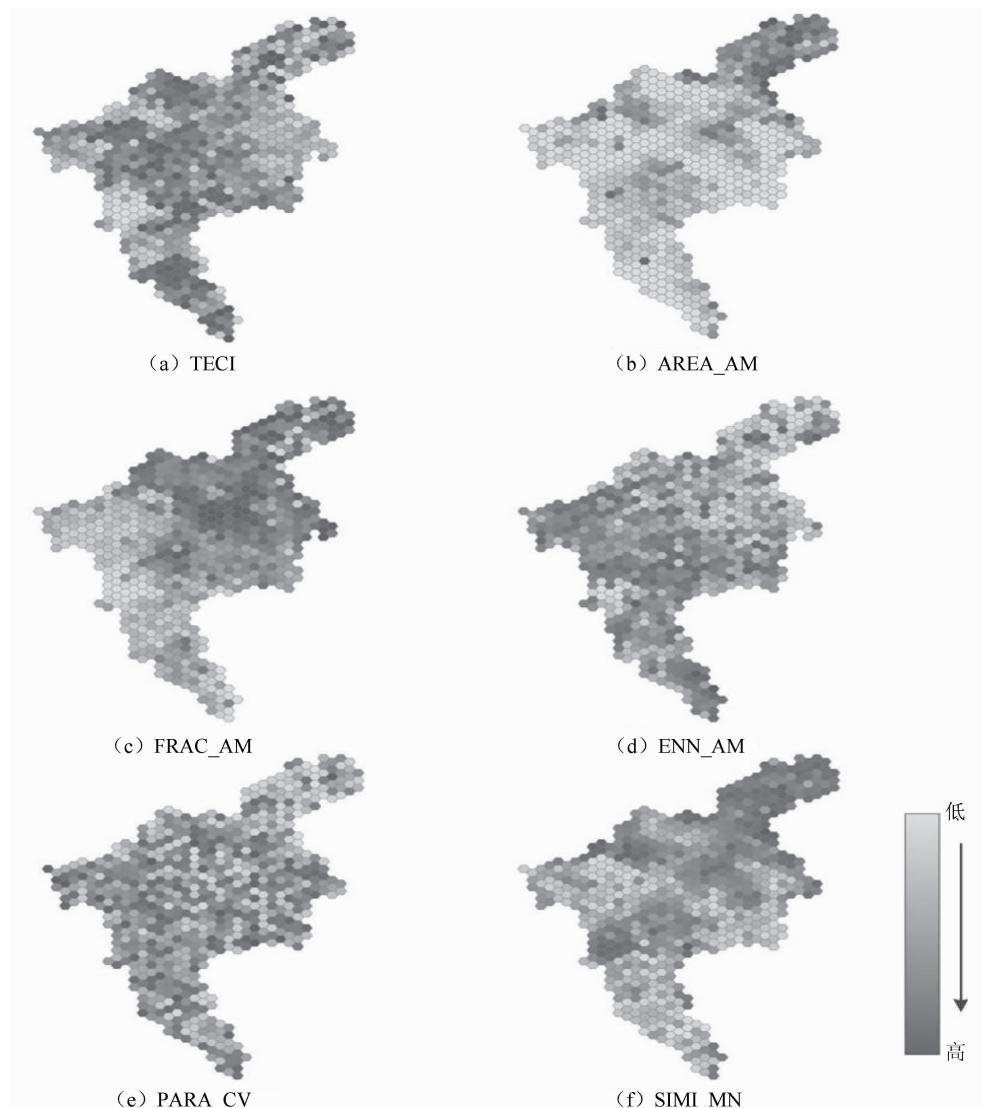


图 1 核心指数分布图

Fig. 1 Distribution of Six Metric Values

广州市土地类型丰富,农业用地、城镇建设用地以及未利用的水域等分布广泛且混杂,因此该指数与前两个相比呈现出相对散布的格局。东北部地区城市化水平较低,自然条件下形成的水田、果园、有林地交错分布,各类型斑块的空间分散度较高,因而 ENN_AM 的值相对低于其他区域。(5)PARA_CV 的值表示某区域内斑块形状的复杂程度的差异大小。在图 1 中,PARA_CV 没有显示明显的空间聚集或梯度变化,但相对而言低值在城市北端较少出现。与(3)和(4)类似,由于远离市中心的北部郊区城市化水平较低,人为改造土地斑块形状的程度亦相对较低,因此该地区保留了较多自然形成的形状复杂程度差异较大的斑块。(6)SIMI_MN 值的分布在广州土地利用格局中呈现较明显的聚集现象,高值在北部郊区和西南部的市中心分布较多。这种情况的解释与上述(2)和(3)类似,即在人类经济活动强烈的市

中心,建设用地类型(主要为城市用地)高度集约化,而北部郊区多由人类影响较小的农业用地主导,土地类型的平均相似度较高。

4 结语

本文以广州市土地利用现状图矢量数据为例,运用斯皮尔曼相关分析与因子分析相结合的探索式分析方法,从 44 个景观层次的景观指数中提取了由 6 个景观指数组成的核心指数集合:TECI、AREA_AM、FRAC_AM、ENN_AM、PARA_CV 和 SIMI_MN,解释了 6 个核心指数在广州土地利用景观格局的 6 个维度的表征含义:景观破碎度、平均斑块面积、平均形状复杂度、空间分散度、形状复杂度变异和土地类型的相似性。核心指数集合可用于评价与提高土地利用效益、促进城市生态服务建设以及辅助城市土地规

划决策。与已有研究的显著区别在于本文基于矢量数据进行分析。

进一步的研究将进行土地利用格局的动态分析,即采用多时态土地利用数据,并结合广州城市化进程的相关数据,研究广州土地利用景观格局的演变和驱动机制。

参 考 文 献

- [1] Turner M G. Landscape Ecology: The Effect of Pattern on Process[J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1989, 20: 171-197
- [2] Li Habin, Franklin J F. Landscape Ecology: New Conceptual Framework in the Field of Ecology[J]. *Trends in Ecology and Evolution*, 1988, 5(1): 23-33 (李哈滨, Franklin J F. 景观生态学: 生态学领域里的新概念构架[J]. 生态学进展, 1988, 5(1): 23-33)
- [3] Wu Jianguo. Landscape Ecology: Pattern, Process, Scale and Hierarchy [M]. Beijing: Higher Education Press, 2007(邬建国. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007)
- [4] McGarigal K, Cushman S, Ene E. Fragstats 4. 2: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps [EB/OL]. http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/downloads/fragstats_downloads.html#FRAGSTATS, 2015
- [5] Yang Xiaojun, Liu Zhi. Quantifying Landscape Pattern and Its Change in an Estuarine Watershed Using Satellite Imagery and Landscape Metrics[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2007, 26(23): 5 297-5 322
- [6] Fräntti P, Ageenko E, Kukkonen S, et al. Using Hough Transform for Context-Based Image Compression in Hybrid Raster/Vector Applications[J]. *Journal of Electronic Imaging*, 2002, 11(2): 236-245
- [7] Schindler S, Poirazidis K, Wrbka T. Towards a Core Set of Landscape Metrics for Biodiversity Assessments: A Case Study from Dadia National Park, Greece[J]. *Ecological Indicators*, 2008, 8: 502-514
- [8] Li Xiubin. Core Fields of Research in Global Environmental Change: International Research Trends on Land Use/Land Cover Change[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1996, 51(6): 553-557 (李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域: 土地利用/土地覆被变化的国际研究动向[J]. 地理学报, 1996, 51(6): 553-557)
- [9] Wang Hanhua, Liu Yanfang. Optimal Allocation of Land Resources Based on MOP-CA[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2009, 34(2): 174-177 (王汉花, 刘艳芳. 基于MOP-CA整合模型的土地利用优化研究[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2009, 34(2): 174-177)
- [10] Liu Yilun, Li Xia. Knowledge Transfer and Adaptation for Urban Simulation Cellular Automata Model Base on Multi-source TrAdaBoost Algorithm [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2014, 39(6): 695-700 (刘轶伦, 黎夏. 利用多源领域知识迁移 CA 的城市建设用地模拟[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2014, 39(6): 695-700)
- [11] Pielke R A, Sr Marland G, Betts R A, et al. The Influence of Land-Use Change and Landscape Dynamics on the Climate System: Relevance to Climate-Change Policy Beyond the Radiative Effect of Greenhouse Gases[J]. *Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 2002, 360(1 797): 1 705-1 719
- [12] Aguilera F, Valenzuela L, Botequilha-Leitão A. Landscape Metrics in the Analysis of Urban Land Use Patterns: A Case Study in a Spanish Metropolitan Area[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2011, 99: 226-238
- [13] Jiao Limin, Liu Yaolin, Li Hongliang. Characterizing Land-Use Classes in Remote Sensing Imagery by Shape Metrics[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2012, 72: 46-55
- [14] Liu Yaolin, Tang Wei, He Jianhua, et al. A Land-Use Spatial Optimization Model Based on Genetic Optimization and Game Theory[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2015, 49: 1-14
- [15] Cao Wei, Zhou Shenglu, Wu Shaohua. Land-Use Regionalization Based on Landscape Pattern Indices Using Rough Set Theory and Catastrophe Progression Method [J]. *Environmental Earth Science*, 2015, 73: 1 611-1 620
- [16] Sun Hua, Li Yunmei, Wang Xiuzhen, et al. Methods and Applications of Landscape Ecological Evaluation in the Typical Small Watershed's Land Use[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2003, 28(2): 177-181 (孙华, 李云梅, 王秀珍, 等. 典型小流域土地利用景观生态评价方法及其应用研究: 以浙江仙居县永安溪为例[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2003, 28(2): 177-181)
- [17] Xu Xibao, Yang Guishan, Zhang Jianming. Urban Land Use Optimization in Lanzhou, China[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2009, 34(7): 878-881 (徐昔保, 杨桂山, 张建明. 兰州市城市土地利用优化研究[J]. 武汉大

- 学报·信息科学版, 2009, 34(7): 878-881)
- [18] Pei Huan, Fang Shifeng, Qin Zhihao, et al. Method and Application of Ecological Environment Vulnerability Evaluation in Arid Oasis: A Case Study of Turpan Oasis, Xinjiang[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2013, 38(5): 528-532 (裴欢, 房世峰, 覃志豪, 等. 干旱区绿洲生态脆弱性评价方法及应用研究: 以吐鲁番绿洲为例[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2013, 38(5): 528-532)
- [19] Yang Xiaoxiong, Liu Yaolin, Wang Xiaohong, et al. Land Utility Planning Layout Model Based on Constrained Conditions Cellular Automata[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2007, 32(12): 1 164-1 167 (杨小雄, 刘耀林, 王晓红, 等. 基于约束条件的元胞自动机土地利用规划布局模型[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2007, 32(12): 1 164-1 167)
- [20] Liu Dianfeng, Liu Yaolin, Liu Yanfang, et al. A Rural Land Use Spatial Allocation Model Based on Multi-objective Particle Swarm Optimization Algorithm[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2013, 38(6): 751-755 (刘殿锋, 刘耀林, 刘艳芳, 等. 多目标微粒群算法用于土地利用空间优化配置[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2013, 38(6): 751-755)
- [21] Liu Yanfang, Ming Dongping, Yang Jianyu. Optimization of Land Use Structure Based on Ecological Green Equivalent[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2002, 27(5): 493-498 (刘艳芳, 明冬萍, 杨建宇. 基于生态绿当量的土地利用结构优化[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2002, 27(5): 493-498)
- [22] Zou Bin, Xu Shan, Zhang Jing. Spatial Variation Analysis of Urban Air Pollution Using GIS: A Land Use Perspective [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2017, 42(2): 216-222 (邹滨, 许珊, 张静. 土地利用视角空气污染空间分异的地理分析[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2017, 42(2): 216-222)
- [23] Schindler S, von Wehrden H, Poirazidis K, et al. Performance of Methods to Select Landscape Metrics for Modelling Species Richness[J]. *Ecological Modelling*, 2015, 295: 107-112
- [24] Hochachka W M, Caruana R, Fink D, et al. Data-Mining Discovery of Pattern and Process in Ecological Systems[J]. *The Journal of Wildlife Management*, 2007, 71: 2 427-2 437
- [25] Dormann C F, Elith J, Bacher S, et al. Collinearity: Are View of Methods to Deal with It and a Simulation Study Evaluating Their Performance [J]. *Ecography*, 2013, 36: 27-46
- [26] Riitters K H, O'Neill R V, Hunsacker C T, et al. A Factor Analysis of Landscape Pattern and Structure Metrics[J]. *Landscape Ecology*, 1995, 10: 23-39
- [27] Griffith J A, Martinkob E A, Price K P V. Landscape Structure Analysis of Kansas at Three Scales [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2000, 52(1): 45-61
- [28] Schindler S. Dadia National Park, Greece: An Integrated Study on Landscape, Biodiversity, Raptor Populations and Conservation Management[D]. Vienna: University of Vienna, 2010
- [29] Wang Xinming, Wang Changyao, Zhan Yulin, et al. A Factor Analysis on Landscape Structure Metrics with Large Scale[J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2006, 22(1): 17-21 (王新明, 王长耀, 占玉林, 等. 大尺度景观结构指数的因子分析[J]. 地理与地理信息科学, 2006, 22(1): 17-21)
- [30] Xiao Rongbo, Zhou Zhixiang, Wang Pengcheng, et al. Landscape Pattern Analysis and Comprehensive Assessment of Greenbelt in Wuhan Steel & Iron Industrial District[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(9): 1 924-1 930 (肖荣波, 周志翔, 王鹏程, 等. 武钢工业区绿地景观格局分析及综合评价[J]. 生态学报, 2004, 24(9): 1 924-1 930)
- [31] Zhao Ruijing, Jiang Penghui, Zhao Haili, et al. Fragmentation Process of Wetlands Landscape in the Middle Reaches of the Heihe River and Its Driving Forces Analysis[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(14): 4 436-4 449 (赵锐峰, 姜朋辉, 赵海莉, 等. 黑河中游湿地景观破碎化过程及其驱动力分析[J]. 生态学报, 2013, 33(14): 4 436-4 449)
- [32] Williams J C, ReVellea C S, Levin S A. Spatial Attributes and Reserve Design Models: A Review[J]. *Environmental Modeling and Assessment*, 2005, 10(3): 163-181
- [33] Schindler S, von Wehrden H, Poirazidis K, et al. Multiscale Performance of Landscape Metrics as Indicators of Species Richness of Plants, Insects and Vertebrates[J]. *Ecological Indicators*, 2013(8): 41-48
- [34] Wu Jianguo. Effects of Changing Scale on Landscape Pattern Analysis: Scaling Relations [J]. *Landscape Ecology*, 2004, 19(2): 125-138
- [35] Wu Jianguo, Shen Weijun, Sun Weizhong, et al. Empirical Patterns of the Effects of Changing Scale on Landscape Metrics [J]. *Landscape Ecology*, 2002, 17(8): 761-782
- [36] Development Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing [EB/OL]. <http://www.R-project.org>, 2016

- [37] Molenaar M. The Role of Topological and Hierarchical Spatial Object Models in Database Generalization[M]// Molenaar M. Methods for the Generalization of Geo-databases. Delft: Netherlands Geodetic Commission, 1996
- [38] Liu Y, Molenaar M, Kraak M J. Semantic Similarity Evaluation Model in Categorical Database Generalization[C]. Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications, Ottawa, Canada, 2002
- [39] Liu Yaolin, Li Hongmei, Yang Chunhui. Ontology Based Land Use Data Generalization[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2010, 35(8): 883-886(刘耀林, 李红梅, 杨淳惠. 基于本体的土地利用数据综合研究[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2010, 35(8): 883-886)
- [40] Rempel R S, Kaukinen D, Carr A P. Patch Analyst and Patch Grid[EB/OL]. <http://www.cnfer.on.ca/SEP/patchanalyst/>, 2016
- [41] Johnston R A, Wichern D W. Applied Multivariate Statistical Analysis[M]. USA: Prentice-Hall Inc, 2007

Towards a Core Set of Landscape Metrics for Land Use: A Case Study from Guangzhou, China

TIAN Jing^{1,2,3} SHAO Shiwei⁴ HUANG Yimin¹ YU Mengting¹

1 School of Resource and Environmental Sciences, Wuhan University, Wuhan 430079, China

2 Key Laboratory of Geographic Information System, Ministry of Education, Wuhan University, Wuhan 430079, China

3 Key Laboratory of Digital Mapping and Land Information Application Engineering, NASG, Wuhan University, Wuhan 430079, China

4 Wuhan Land Resource and Planning Information Center, Wuhan 430014, China

Abstract: The spatial pattern of landscape is fundamental to landscape's function and development. Landscape metric analysis is widely applied in fields such as land use/land cover patterns, ecosystem service, forest monitoring, urban sprawl, regional biodiversity, etc. There are high correlations between many presented landscape metrics, which not only result in redundancy but also influence the clarity and accuracy of interpretation. Meanwhile, most of previous researches on landscape metric analysis use raster data and few use vector data. In order to solve these problems, a case study of Guangzhou land use pattern was performed. Firstly, we calculate 44 common landscape metrics using vector data. Then, multivariate statistical analysis, a combination of Spearman correlation analysis and factor analysis, is applied to solve the problem of redundancy. A core set of six landscape metrics in vector format is extracted, which respectively describe landscape fragmentation, average patch size, average shape complexity, spatial isolation, shape complexity variation and land use similarity.

Key words: landscape metrics; correlation analysis; factor analysis; land use; vector data

First author: TIAN Jing, PhD, specializes in automated map generalization and spatial data mining. E-mail: tianjing_sres@whu.edu.cn

Corresponding author: YU Mengting, postgraduate. E-mail: astoria-mt@whu.edu.cn

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China, No. 41701439.