

城市化强度与木本植物多样性之间的空间关系

李彩珠¹, 宋连连², 朱文浩³, 丁珂新¹, 王亚男¹, 杨金明^{1*} (1. 青岛农业大学园林与林学院, 山东青岛 266109; 2. 青岛市城阳区行政审批服务局, 山东青岛 266109; 3. 青岛高城维林林业规划有限公司, 山东青岛 266109)

摘要 [目的]探究城市化强度与木本植物多样性之间的空间关系。[方法]以青岛市主城区的城市森林为研究对象,在样地调查的基础上,运用SPSS软件分析了城市化强度与木本植物多样性指数之间的相关性,同时利用地理加权回归模型建立了二者之间的空间关系。[结果]青岛市主城区木本植物多样性具有明显的空间异质性;城市化强度与木本植物丰富度指数之间具有显著相关性,与香浓维纳指数和均匀度指数之间显著不相关;地理加权回归分析结果表明,城市化强度与木本植物多样性之间的关系具有空间异质性。[结论]该研究可为城市木本植物多样性空间分布及其受城市化影响的深入研究提供科学依据。

关键词 城市化;植物多样性;SPSS;ArcGIS;Fragstats

中图分类号 S731.2 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)10-0095-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.10.023



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Spatial Relationships between Urbanization Intensity and Woody Plant Diversity

LI Cai-zhu¹, SONG Lian-lian², ZHU Wen-hao³ et al (1. College of Landscape Architecture and Forestry, Qingdao Agricultural University, Qingdao, Shandong 266109; 2. Administrative Approval Service Bureau of Chengyang District, Qingdao, Shandong 266109; 3. Qingdao Gaocheng Weilin Forestry Planning Co., Ltd., Qingdao, Shandong 266109)

Abstract [Objective] To explore the spatial relations between urbanization intensity and woody plant diversity. [Method] Taking urban forest of Qingdao urban area as the research object, on the basis of sample survey, using SPSS software to analyze the correlation between urbanization strength and diversity index of woody plants, at the same time using geographically weighted regression model to establish the spatial relationship between them. [Result] The results showed that the diversity of woody plants in the main urban area of Qingdao had obvious spatial heterogeneity. There was a significant correlation between urbanization intensity and woody plant richness index, but no correlation between urbanization intensity and Shannon Wiener index and evenness index. The results of geographically weighted regression analysis showed that the relationship between urbanization intensity and woody plant diversity was spatially heterogeneous. [Conclusion] This study can provide a scientific basis for the in-depth study of the spatial distribution of urban woody plant diversity and its impact on urbanization.

Key words Urbanization; Plant diversity; SPSS; ArcGIS; Fragstats

城市化是指一个国家或地区由传统乡村型社会向现代城市型社会逐渐转变的历史过程,伴随着城市化进程的加快,城市范围内人为干扰的强度由郊区向市中心呈现逐渐增强的趋势,外来植物的种类及数量也随着城市化程度的加大而增多,植物多样性由郊区向市中心逐步减少^[1-2]。

在城市生态建设过程中,植物多样性作为城市生态的重要指标,它关系着人与自然的和谐发展。植物多样性是植物与其他有机体及其生存环境之间长期相互作用下形成的各类生态过程。植物多样性不仅与城市的可持续发展密切相关,还是人类赖以生存的基础^[3]。提高城市植物多样性有利于改善小气候,防风遮阴,维持生态平衡。在一定程度上还可以缓解热岛效应,一方面通过光合作用散失大量热量,使温度降低;另一方面能够吸收阳光中的辐射热,改善环境湿度水平^[4]。随着城市化强度的增加,木本植物原先具有的自然景观正遭受着生境破碎化,不同生活型的木本植物分散在各种城市土地类型中。城市范围内出现生物同质化现象,即使不断增大地理距离,城市木本植物组成也具有较高的相似性,致使植物多样性降低。植物多样性降低造成城市自然生产力下降,改变气候条件,破坏生态平衡,从而引发一系列环

境问题,如紫外线辐射、日照时间、年平均风速、相对湿度均降低等^[5-6]。

城市化通过改变物种的栖息地及生境,影响生物之间的相互作用和景观的异质性。明确城市化强度与木本植物多样性之间的空间关系有利于规划未来城市的发展。近年来,国内外学者在这方面进行了一些研究^[7]。城市化造成本土植物物种的丢失和外来物种的增加,美国在这方面研究较多,Bertin^[8]研究了美国 Worcester 13 个城镇在 50~150 年的植物种类变化,发现本土物种丰富度降低了 3%~46%;Standley^[9]研究表明,马萨诸塞州的 Needham 城丢失了近 50% 的木本植物物种(330 种),增加了 200 个外来植物物种;DeCandido 等^[10]研究表明,100 年来,纽约城丢失了 578 个本土物种(占总数的 43%),增加了 411 个外来物种。McKinney^[11]在美国 8 个城市的调查中发现,随着城市化程度递减,外来植物物种的相似性系数显著下降,而本土植物相似性系数变化很小,说明本土植物对于维护城市植物群落稳定性有很重要的意义。

随着人为干扰强度由中心城区、城市周边郊区向远郊乡村逐渐降低,植物多样性的分布逐渐呈增加的趋势^[12]。在西方一些发达城市的城乡梯度上,城市化强度越高,植物多样性越低,本土树种和外来树种的比例失衡越严重。例如,澳大利亚的 Adelaide 市截至目前至少有 32 种木本植物消失,外来树种却增加了 48 种^[13]。关于德国柏林城市木本植物变化的研究表明,在未来很长一段时间内外来木本植物会

基金项目 青岛农业大学大学生创新训练项目“城市化强度对青岛市城市森林结构和景观格局空间异质性的影响”“POI 对城市森林结构和景观格局的影响”。

作者简介 李彩珠(1999—),女,山东聊城人,从事林学研究。*通信作者,讲师,博士,从事城市化与城市森林生态效益研究。

收稿日期 2021-08-12

占据主导位置,城市木本植物多样性在一定区域内会得到提高,但总体上仍是降低的^[14]。笔者以青岛市木本植物多样性为研究对象,研究了青岛建成区城市木本植物多样性空间分布特点,城市化强度与城市木本植物多样性的相关性等,以期为城市发展提供参考与依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况 研究区域为青岛市南区、北区、李沧区和崂山区的中韩街道。研究区处于北温带,属大陆季风气候。由于青岛靠近黄海,受到海洋因素影响较为明显,气候比较适宜,同纬度下研究区域内的木本植物种类丰富。主要的木本植物有银杏、悬铃木、椴树、马褂木、红枫、鸡爪槭、日本五针松、山茶、紫叶小檗、火棘、海桐等。

1.2 研究方法

1.2.1 城市木本植物多样性及其空间插值。参考 UFORE (the urban forest effects model)城市森林调查手册中的调查方

法,以前期研究提取到的城市森林斑块为抽样层,利用分层随机抽样的方法进行城市森林样地调查。首先,利用 ArcGIS 在森林斑块图上随机设计一定数量的样地中心点,用 GPS 导航定位这些点,以 11.3 m 为半径设置圆形样地,调查样地内木本植物种类及数量。在 2019 年 7—8 月共完成调查样地 132 个,其空间分布见图 1。每个样地的木本植物多样性用物种丰富度、香浓维纳指数、均匀度指数和辛普森指数表征。

在野外调查数据的基础上,利用 ArcGIS 10.5 和 Kriging 插值方法,绘制了城市树木多样性的空间分布格局。Kriging 提供了正态分布数据的最佳线性无偏估计,使用邻近样本的加权线性组合,使误差方差最小化。

1.2.2 城市化强度计算。该研究利用公里网格单元内不透水面的占比表征网格空间的城市化强度,计算公式如下:

$$UI_i = \frac{ISA_i}{TA_i} \quad (1)$$

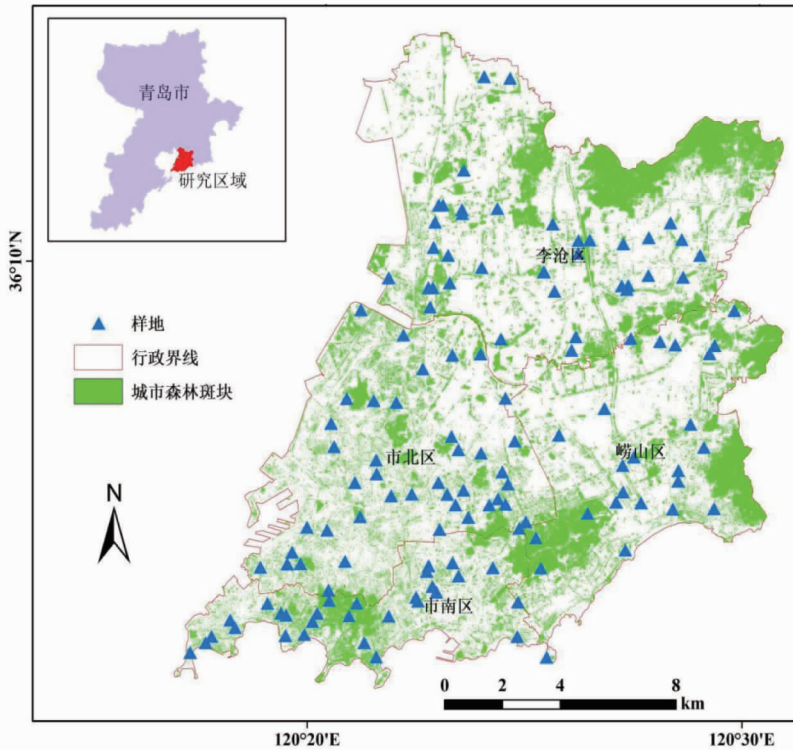


图1 青岛市主城区城市森林斑块及调查样地空间分布

Fig.1 Spatial distribution of urban forest patches and survey plots in the main urban area of Qingdao City

式中, UI_i 是第 i 个网格内的城市化强度; ISA_i 表示第 i 个网格内的不透水面积,由研究区土地利用分类图计算得到; TA_i 为第 i 个网格的总面积。

1.2.3 相关性分析。通过 SPSS 22 统计软件对城市化强度和城市森林空间格局数据进行相关分析。SPSS 相关性分析输出表格中有 3 行数据,分别为皮尔逊相关系数、样本容量、显著性检验结果。其中,样本容量代表数据中样本点数量;显著性检验结果即双尾,用以表征统计学意义。

1.2.4 回归分析。常见的确定不同变量间定量关系的分析方法为回归分析。相关性分析只能确定两者之间的关系,而回归分析则是表现两者之间具体量化的大小。为研究城市化强度

对森林空间格局的影响,利用回归分析进行量化计算,用来实现城市化强度的变化对城市森林景观的预测分析。

1.2.5 地理加权回归分析。地理加权回归 (geographically weighted regression, GWR) 是一项在空间尺度上分析观测数据的手段。由于随机抽样和不同空间具有不同地理自然环境,从而造成观测数据存在一定误差。原有的分析模型忽视了空间非平稳性的影响,使得测量数据的结果也发生了偏差。GWR 模型为

$$Y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_{j=1}^p \beta_j(u_i, v_i) X_{ij} + \varepsilon_i$$

式中, Y_i 为第 i 点的因变量; ε_i 为残差; P 为样本容量; X_{ij} 为第 j 个自变量在第 i 点的值; (u_i, v_i) 为第 i 个样本点的空间

坐标; $\beta_j(u_i, v_i)$ 为连续函数 β_j 在*i*点的值。 β_0 为地理加权回归参数。地理加权回归将采集数据的空间发布关系代入回归方程中得出相应的数据。这种分析方法全面地对数据进行了空间分析,减少了分析的误差。

2 结果与分析

2.1 青岛主城区木本植物多样性空间异质性

香浓维纳指数和辛普森多样性指数反映了植物群落的空间异质性。由

图 2 可见,在李沧区北部和崂山区东部植物群落空间异质性(空间缀块性和梯度的总和)较高,香浓维纳指数在 1.26~<1.61,而市北区与市南区较低,香浓维纳指数在 0.63~<1.10;均匀度指数在李沧区北部与崂山区较高,指数在 0.82~<0.98;丰富度指数在李沧区北部较高,在 5.49~<6.10,而青岛市较大部分地区丰富度指数在 3.71~<4.96;辛普森多样性指数在市南区南部分布相对较高,在 0.40~<0.62,其他地区均<0.25。

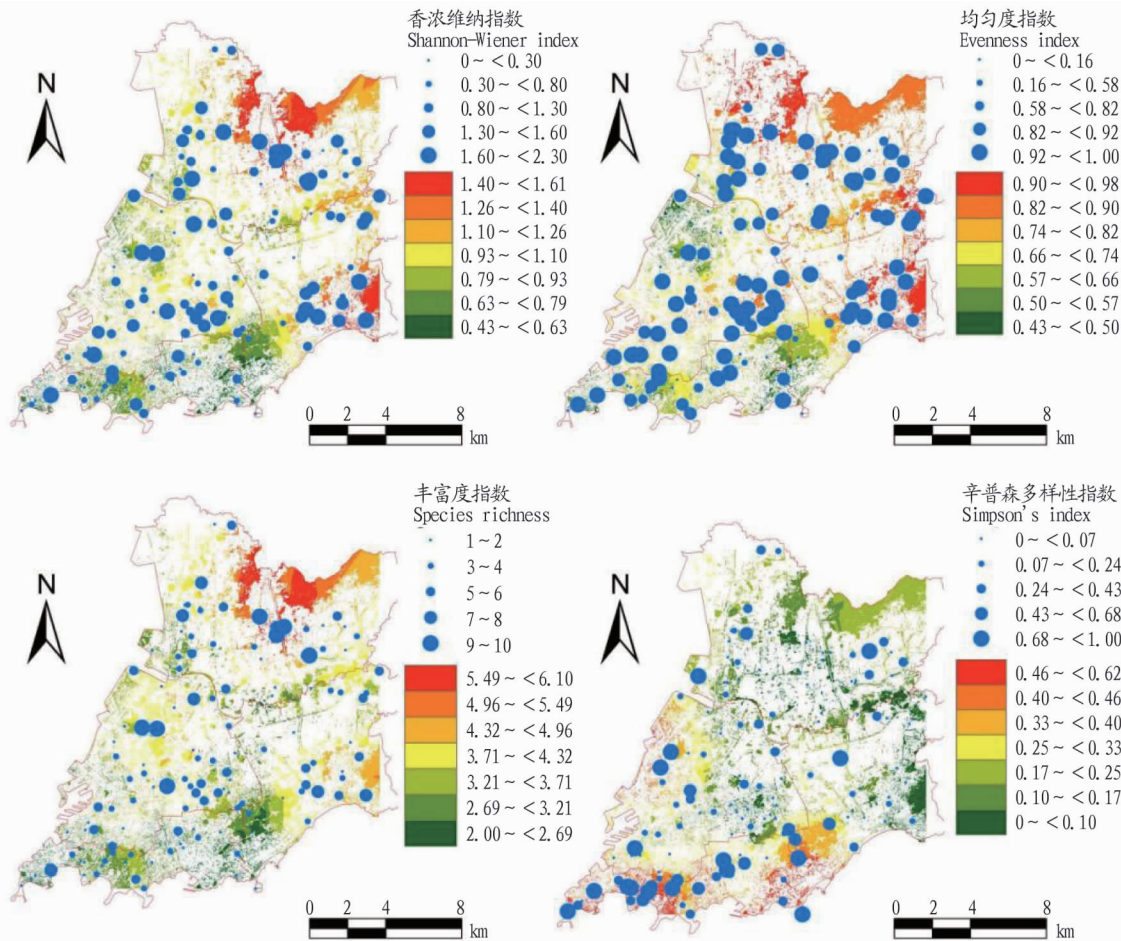


图 2 青岛市主城区木本植物多样性空间插值结果

Fig.2 Spatial interpolation results of woody plant diversity in the main urban area of Qingdao City

2.2 青岛主城区城市化强度空间异质性

通过使用 ArcGIS 公里网格制图,对青岛市主城区城市化强度进行分析,发现在研究区内城市化强度有比较明显的空间结构特征(图 3):

- ①青岛市西南部(市南、市北)、李沧区中部与南部的城市化强度较强,城市化强度指数在 0.68~<1.00,这是由于市南、市北、李沧区经济相对其他区域发达,经济发展提高了城市化强度。
- ②崂山区中韩街道城市化强度指数在 0.68~<0.81,城市化强度属于中等偏上水平,这与对景区的不断开发、人为改造促进城市化发展有关。
- ③青岛市东北部地区城市化强度较低,城市化强度指数在 0~<0.51。

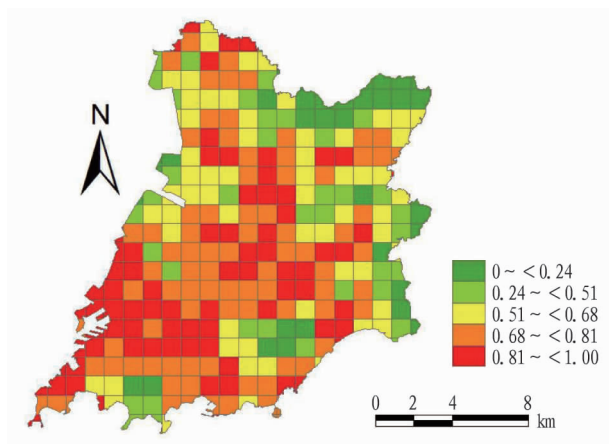


图 3 青岛市主城区城市化强度空间异质性

Fig.3 Spatial heterogeneity of urbanization intensity in the main urban area of Qingdao City

2.3 城市化强度与城市木本植物多样性相关性分析

城市化强度与城市木本植物多样性之间的相关性见表 1。由表 1 可知,城市化强度与香浓维纳指数 $P>0.05$,相关性不显著;城市化强度与均匀度指数 $P>0.05$,两者相关性不显著;城市化

强度与木本植物丰富度指数 $P < 0.05$, 两者相关性显著。通过香浓维纳指数、均匀度指数和丰富度指数来衡量木本植物多样性, 结果表明, 城市化强度对木本植物多样性的关联程度高。

表 1 城市化强度与城市木本植物多样性相关性分析

Table 1 Correlation analysis between urbanization intensity and urban woody plant diversity

指标 Index	皮尔逊相关性 Pearson correlation	双尾 Two tailed	个案数 Number 个
香浓维纳指数 Shannon-Wiener index	-0.109	0.065	290
均匀度指数 Evenness index	0.045	0.441	290
丰富度指数 Richness index	-0.122*	0.037	290

注: * 表示 $P < 0.05$

Note: * indicates $P < 0.05$

青岛通过城市化建设改变了原有的木本植物生境。城市中的木本植物可以被划分为 2 类: 一类是当地生境遭到破坏后的残存木本植物; 另一类是人们引进管理的外来木本植物。城市化强度对城市木本植物多样性的相关性大, 这可能与青岛市在城市建设方面大量引进适应当地生存环境的外来木本植物有关。比如道路绿化用地和居民区绿化用地栽

种了不少外来木本植物。人类是城市生态系统中的主体往往是通过自己的意愿来改造生活环境。换句话说, 城市中高强度城市化地区通过人工绿地管护措施而增加木本植物多样性, 城市化强度低的地方, 人工管护的程度也会降低。因此在受到经济和人文思想的影响条件下, 木本植物多样性与城市化强度相关性显著。

2.4 城市化强度与城市木本植物多样性回归分析 通过回归性分析, 得出城市化强度与木本植物多样性的相关性关系, 其中城市化强度与丰富度指数呈显著负相关性关系。运用 SPSS 软件中的回归性分析确定城市化强度与植物多样性之间关系。由表 2 可知, 当城市化强度变化 1 个单位时, 香浓维纳指数会下降 0.109, 均匀度指数上升 0.045, 丰富度指数上升 0.102。上述结果表明城市化强度与香浓维纳指数、均匀度指数、丰富度指数呈线性关系, 随着社会的发展、城市化进程与城市木本植物的生长, 繁衍有一定的比例关系。人们在城市化过程中有目的地种植或引进木本植物, 城市化建设过程中, 各种绿化用地需要一定量的树木, 这些树木的生活型不同, 对环境变化的反映也不同, 自然就引起了城市木本植物多样性的变化。总体而言, 城市化程度的大小严重影响着木本植物的丰富度。

表 2 城市化强度与木本植物多样性回归性分析

Table 2 Regression analysis of urbanization intensity and woody plant diversity

模型 Model	R	R ²	调整后 R ² Adjusted R ²	估计标准误差 Estimation standard error	标准化系数 Standardization coefficient
香浓维纳指数 Shannon-Wiener index	0.109	0.012	0.008	0.239	-0.109
均匀度指数 Evenness index	0.015	0.125	0.076	0.246	0.045
辛普森指数 Richness index	0.045	0.002	-0.001	0.240	0.102

2.5 城市化强度与城市木本植物多样性地理加权回归分析 由于城市化强度存在不同的空间效益, 数据自身存在空间结构性差异, 即空间结构的非均衡性, 故利用 ArcGIS 进行地理加权回归, 以城市化强度分别与香浓维纳指数、均匀度指数、丰富度指数作图 (图 4)。

从香浓维纳指数回归系数来看 (图 4a), 以市北区、李沧区南部较高, 数值在 0.21 ~ 0.50, 原因可能是随着人为栽植木本植物、引进外来植物等, 提高了该地区的植物多样性, 而其他地区主要用地类型是居民区、道路、商业区等, 限制了木本植物的生活发展, 木本植物在其中的生活环境差, 生活史难以正常完成。从均匀度指数回归系数来看 (图 4b), 仅市北区中部较高, 数值在 0.34 ~ 0.71, 说明研究区域大部分地区植物分布不均。从丰富度指数回归系数来看 (图 4c), 以市北区与市南区北部、李沧区西部较高, 数值在 0.37 ~ 1.02, 原因是人为不断地栽植、引进植物, 从而增加了植物种类。从城市化强度的空间分布情况来看 (图 4d), 研究区域内在市北区、市南区与崂山区西部的城市化强度较高, 数值在 0.81 ~ 1.00, 原因可能是在市南区、市北区和崂山区有各种学区、世园会和以十梅庵为代表的人文旅游胜地, 使其城市化强度较其他地区高。

3 结论与讨论

城市木本植物多样性对城市生态系统的稳定性和功能起着至关重要的作用, 高水平的植物多样性有助于保护城市森林免受病虫害造成灾难性损失, 并有助于改善生态系统功能, 因此植物多样性被认为是城市化进程中森林管理的关键组成部分。

在北京植物多样性空间模式与城市化的影响研究中^[15], 采用了传统的梯度法和经典的统计回归分析, 如多元回归分析、广义线性模型、协方差分析和皮尔逊相关分析等, 使用的变量包括距离市中心的距离、不透水表面的比例、人口密度、土地利用类型、公共机构 (公园、路边、学校、住宅、医院等) 距离城市的距离、城市树冠的比例以及树冠斑块的大小。该研究采用 SPSS 分析、地理加权分析、线性回归方法, 分别进行了香浓维纳指数、辛普森指数、均匀度及丰富度指数的空间差异性对比, 研究了城市化强度与木本植物多样性的相关性。不足的是, 该研究采用的变量较少, 木本植物多样性的空间异质性需要较多城市化指标进行研究, 以充分了解城市地区木本植物多样性的形成机制, 这有待于今后的进一步研究。

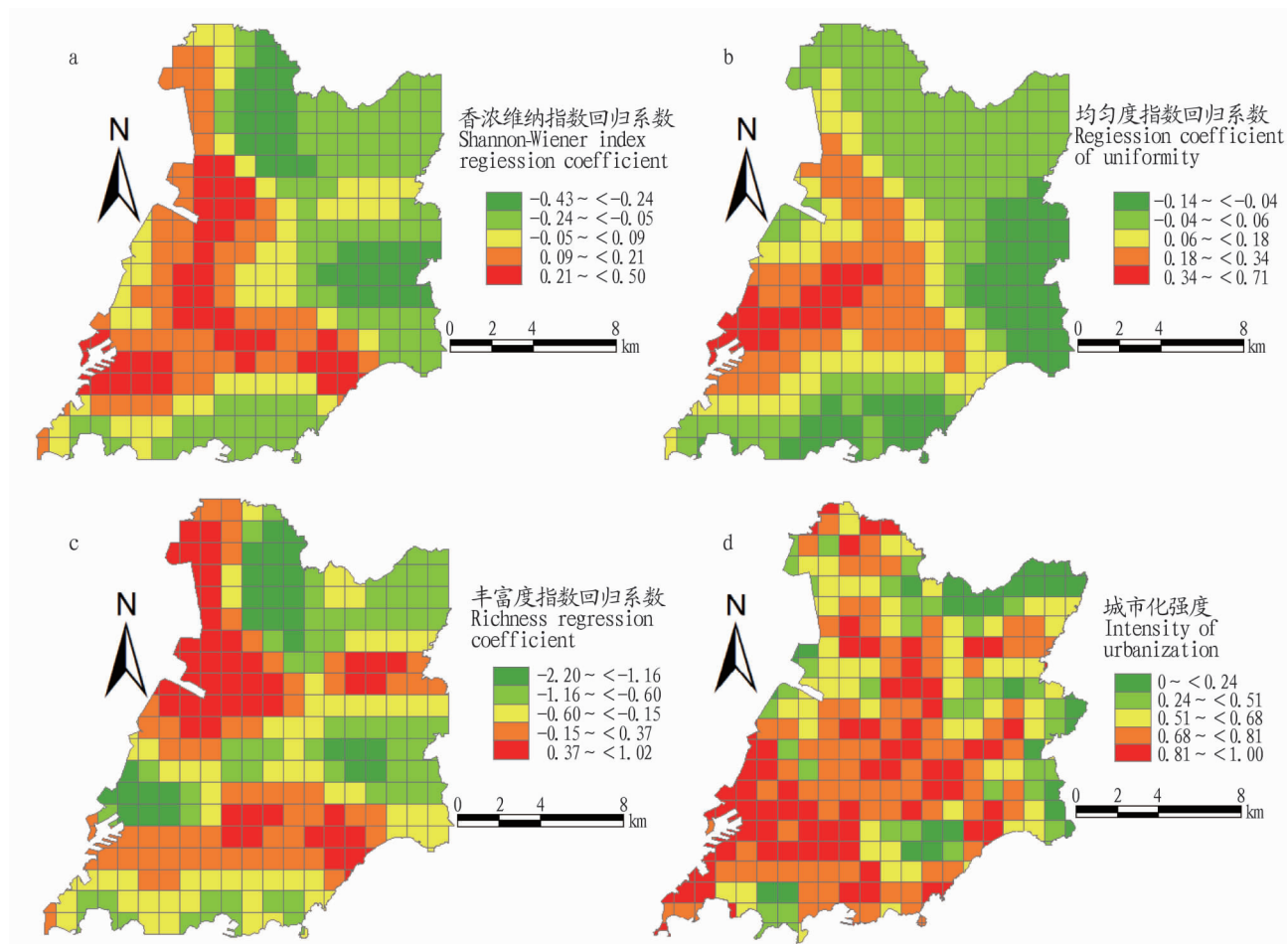


图 4 城市化强度与城市木本植物多样性指数回归系数

Fig.4 Regression coefficient of urbanization intensity and urban woody plant diversity index

鉴于城市植物多样性空间分布的研究主要集中在欧洲、北美、澳大利亚和中亚,我国的相关研究很少受到重视,考虑到青岛城市化强度不断加强,在青岛市进行城市化强度与植物多样性的空间关系探究对未来进行合理的城市化建设起着重要作用。该研究首先通过对青岛市建成区木本植物多样性进行地理加权回归分析,绘制了青岛市木本植物多样性空间模式;其次探讨了青岛城市化强度空间异质性差异,发现城市化强度对植物物种丰富度具有显著的影响。该研究在一定程度上揭示了城市化强度与木本植物多样性的关系,可为今后城市发展提供参考。

参考文献

- [1] 彭羽,王玟涛,卢奕瞳,等.城市化景观格局对本土植物多样性的多尺度影响:以北京市顺义区为例[J].应用生态学报,2020,31(12):4058-4066.
- [2] 陈国建.城市化对植物物种多样性的影响:方法、格局与机制[D].上海:华东师范大学,2015.
- [3] 辛甲祥.如何加强森林抚育对提升植物多样性的作用[J].花卉,2019(6):234.
- [4] 何荣晓.城市化对植物多样性的影响:以海口市为例[D].海口:海南大学,2016.
- [5] 张飞飞,周澎,文美平,等.不同土地利用方式影响下的城市森林植物多样性格局[J].安徽农业科学,2015,43(4):238-240,277.
- [6] Urban research-urban ecosystems; Research data from China West Normal University update understanding of urban ecosystems [Effect of urbaniza-

- tion intensity on nest-site selection by Eurasian magpies (*Pica pica*) [J]. Ecology environment & conservation, 2020, 38(1): 98-101.
- [7] XU Y, CAO Z Y, WANG B. Effect of urbanization intensity on nest-site selection by Eurasian magpies (*Pica pica*) [J]. Urban ecosystems, 2020, 23(5): 1099-1105.
- [8] BERTIN R I. Losses of native plant species from Worcester, Massachusetts [J]. Rhodora, 2002, 104: 325-349.
- [9] STANDLEY L A. Flora of Needham, Massachusetts—100 years of floristic change [J]. Rhodora, 2003, 105(924): 354-378.
- [10] DECANDIDO R, MURI A A, GARGIULLO M B. A first approximation of the historical and extant vascular flora of New York City: Implications for native plant species conservation [J]. Journal of the torrey botanical society, 2004, 131(3): 243-251.
- [11] MCKINNEY M L. Urbanization as a major cause of biotic homogenization [J]. Biological conservation, 2006, 127(3): 247-260.
- [12] YANG J M, LI X L, LI S M, et al. The woody plant diversity and landscape pattern of fine-resolution urban forest along a distance gradient from points of interest in Qingdao [J/OL]. Ecological indicators, 2021, 122 [2021-04-15]. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107326>.
- [13] JIM C Y, LIU H T. Species diversity of three major urban forest types in Guangzhou City, China [J]. Forest ecology and management, 2001, 146(1/2/3): 99-114.
- [14] ANDERSSON E, COLDING J. Understanding how built urban form influences biodiversity [J]. Urban forestry & urban greening, 2014, 13(2): 221-226.
- [15] PATON G D, SHOFFNER A V, WILSON A M, et al. The traits that predict the magnitude and spatial scale of forest bird responses to urbanization intensity [J]. PLoS One, 2019, 14(7): 112-122.