

DOI: 10.5846/stxb201805151067

顾康康,程帆,杨倩倩.基于 GISP 模型的城市绿色基础设施多功能性评估.生态学报,2018,38(19): - .

Gu K K, Cheng F, Yang Q Q. Analysis of multifunctional urban green infrastructure using a GISP model. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(19): - .

# 基于 GISP 模型的城市绿色基础设施多功能性评估

顾康康<sup>1,2,\*</sup>, 程 帆<sup>1</sup>, 杨倩倩<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 安徽建筑大学建筑与规划学院, 合肥 230022

<sup>2</sup> 安徽省城镇化发展研究中心, 合肥 230022

**摘要:**绿色基础设施建设是加强城市生态弹性力的重要手段之一。绿色基础设施多功能性是实现城市生态系统服务功能综合效益最大化的前提,这一点已被众多学者认可。构建绿色基础设施规划(GISP, Green Infrastructure Spatial Planning)模型,基于绿色基础设施的雨洪管理、绿色空间可达性、净化空气、缓解热岛效应、景观连通性五大功能指标,开展城市绿色基础设施多功能性评估,明确合肥市绿色基础设施的高需求地区,探讨绿色基础设施不同功能之间的权衡和协同关系。结果表明:合肥市东北部对于绿色基础设施缓解城市热岛效应、净化空气的需求最强烈,城市一环区域对于绿色基础设施的雨洪管理需求最为强烈,城市东部、南部对于绿色基础设施的绿色空间可达性需求显著;总体而言,绿色基础设施选址的热点区域为城市一环内及东北区域;绿色基础设施的雨洪管理、缓解城市热岛和净化空气间存在着协同关系,与景观连通性之间存在着权衡关系;运用GISP模型评估合肥生态空间体系控制规划以及合肥市域空间绿道网络系统建设总体规划,规划中绿地选址不在绿色基础设施的高需求区域,也没有在战略上整合绿地多功能的生态系统服务、获得更大的生态弹性力。

**关键词:**生态弹性力;绿色基础设施;生态系统服务;多功能性评估;合肥市

## Analysis of multifunctional urban green infrastructure using a GISP model

GU Kangkang<sup>1,2,\*</sup>, Cheng Fan<sup>1</sup>, Yang Qianqian<sup>1</sup>

<sup>1</sup> School of Architecture & Planning, Anhui Jianzhu University, Hefei 230022, China

<sup>2</sup> Research Center of Urbanization Development in Anhui Province, Hefei 230022, China

**Abstract:** Green infrastructure construction is one of the most important means to strengthen the urban ecological resilience. The versatility of green infrastructure is a prerequisite for maximizing the overall benefits of urban ecosystem services, which has been recognized by many scholars. We have constructed a green infrastructure planning (GISP) model that includes functional indicators such as rain-flood management, green space accessibility, air purification, heat island mitigation, and landscape connectivity. It is used to conduct an assessment of the versatility of urban green infrastructure, identify high-demand areas for green infrastructure in Hefei, and explore trade-offs and synergies between different functions of green infrastructure. The results show that the northeastern part of Hefei City has the strongest demand for green infrastructure to alleviate urban heat island effect and clean air. The urban one-ring area has the strongest demand for rain-flood management of green infrastructure. The eastern and southern parts of the city have significant demand for green space accessibility. In general, the hotspots for green infrastructure site selection are within the urban area and the northeast region. There is a synergy between the rain-flood management, the alleviation of urban heat islands and the purification of air, and there is a trade-off between these three functions and the landscape connectivity. The GISP model is used to evaluate the Hefei ecological space system control plan and the Hefei spatial greenway network system construction general plan. The planned

**基金项目:**2018 年度安徽省教育厅高校自然科学重点项目(KJ2018A0504)、2017 年安徽省教育厅高校优秀青年人才支持计划项目(gxyqZD2017061)资助

**收稿日期:**2018-05-15; **网络出版日期:**2018-07-13

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

green space site selection is not in the high demand area of green infrastructure, and there is no strategic integration of green space multi-functional ecosystem services. Thereby obtaining greater ecological resilience.

**Key Words:** green infrastructure; multifunctional ecosystem services; urban resilience; multifunction evaluation; Hefei city

生态弹性力是指生态系统在受到外界干扰,偏离平衡状态后表现出的自我维持、自我调节及抵抗外界各种压力和扰动的能力<sup>[1]</sup>。城市通过绿色基础设施建设增强抵御能力和生态系统服务功能,最终达到扩大城市生态弹性力的作用<sup>[2-3]</sup>。绿色基础设施多功能性是实现城市生态系统服务功能综合效益最大化的前提,这一点已被众多学者认可<sup>[4]</sup>,多功能性提供了生态系统服务供应、调节、支持和文化四大服务类别<sup>[5]</sup>,既能提供生态功能效益,又能在社会问题上产生社会和环境效益<sup>[6]</sup>。例如绿色基础设施开发城市绿色空间,如屋顶绿地、雨洪公园和绿道等,提供各种社会和生态效益,以改善公共环境和雨洪管理<sup>[7]</sup>。广泛实证规划以及文献研究表明绿色基础设施除了注重解决雨洪问题外<sup>[8]</sup>,还在缓解城市热岛效应<sup>[9]</sup>、净化空气<sup>[10]</sup>、景观连通性<sup>[11]</sup>以及绿色空间可达性上有较明显效应<sup>[12]</sup>。虽然绿色基础设施具有多功能性,但绿色基础设施经常从单一效益进行研究和实施,如海绵城市的角度<sup>[8,13-14]</sup>。缺乏综合规划模型来评估多功能性的绿色基础设施规划,以及社会和生态效益之间的协同和权衡效应<sup>[15]</sup>。为了解决这一问题,本文通过构建绿色基础设施规划(GISP)模型,开展城市绿色基础设施多功能性评估,明确绿色基础设施的高需求地区,探讨绿色基础设施效益之间的权衡和协同作用,论证城市绿地系统相关规划是否在战略性规划和选址上符合生态系统服务效益最大化。

## 1 研究区与研究方法

### 1.1 研究区概况

合肥位于中国华东地区,长三角西端,江淮之间。2016年末常驻总人口786.9万,城市建成区面积428 km<sup>2</sup>,GDP达到6274.3亿元。合肥是安徽省省会城市,同时具有长三角城市群副中心城市、综合性国家科学中心、全国文明城市、国家园林城市等荣誉。城市中心城区建成环城公园、滨湖森林公园、大蜀山森林公园、董浦水库、大房郢水库等生态空间,生态本底良好。随着合肥经济的快速发展,城区人口持续增长、建成区扩张加速,城市洪涝问题、热岛效应以及空气问题日益突出,绿色基础设施建设面临巨大压力。

本研究以合肥市中心城区为研究区域,以中心城区47个街道为研究单元(图1)。

### 1.2 绿色基础设施规划(GISP)模型

传统多功能性绿色基础设施规划研究多运用空间多标准(MCE)评估框架进行评估,较多使用绿色空间可达性和缓解热岛效应两个指标来进行评估<sup>[8]</sup>。在指标权重确定方面,较少使用利益相关者评估的权重,有的虽然考虑利益相关者的权重,但未考虑绿色基础设施效益之间权衡和协同效应<sup>[4]</sup>,同时都相对较少的使用基于GIS的空间多标准评估方法<sup>[16]</sup>。本文构建的绿色基础设施规划(GISP)模型是基于GIS平台集成雨洪管理、绿色空间可达性、净化空气、缓解热岛效应、景观连

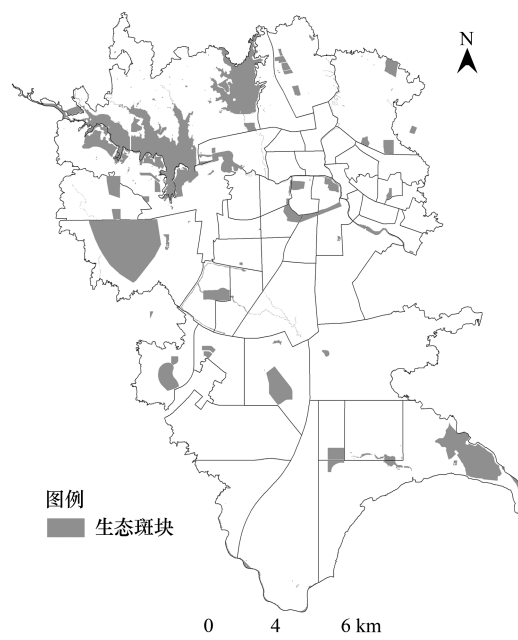


图1 研究区范围

Fig.1 Study area

通性五大功能(表 1),通过 MCE 构建包含利益相关者优先级的模型<sup>[17]</sup>。模型可用来识别城市绿色基础设施需求的优先区域,并分析各指标效益之间权衡和协同作用,促进平等分配和利用效益,达到最大化多个生态系统服务功能,评价结果也可作为决策支持工具。

表 1 绿色基础设施规划模型和数据来源  
Table 1 Green infrastructure planning model and data source

| 功能<br>Function                           | 生态系统服务类别<br>Ecosystem<br>service category | 标准<br>Standard | 指标<br>Indicators         | 数据来源<br>Data sources                         |
|------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------|--------------------------|----------------------------------------------|
| 雨洪管理<br>Stormwater management            | 调节、供给                                     | 雨水危害           | 综合径流系数                   | Landsat8 遥感影像、DEM 高程<br>(2017.01.01,地理空间数据云) |
| 绿色空间可达性<br>Green space accessibility     | 文化                                        | 缺乏游憩场所         | 无法在公园 10 分钟<br>步行距离内的人口数 | 合肥市民政局人口统计数据(2017.03)                        |
| 缓解热岛效应<br>Relieve the heat island effect | 调节                                        | 城市热岛效应         | 平均地表温度                   | Landsat8 遥感影像<br>(2016.07.25,地理空间数据云)        |
| 净化空气<br>Purifying air                    | 调节                                        | 空气污染程度         | PM <sub>2.5</sub> 浓度     | 合肥市环保局监测数据(2017.4)                           |
| 景观连通性<br>Landscape connectivity          | 支持                                        | 景观连通性程度        | Patch Cohesion Index     | Landsat8 遥感影像                                |

1.2.1 雨洪管理

为了确定区域雨洪管理的优先级,使用能在一定程度上反应排水能力的径流系数来评估雨洪管理。径流系数越大则代表降雨较不易被土壤吸收,亦会增加排水沟渠的负荷。因此,径流系数大的区域为雨洪管理优先区。

模型基于 2017 年 1 月 1 日合肥市遥感图像,通过汇水子区域划分、地表覆盖监督分类、DEM 坡度分析和 GIS 叠置分析等步骤,获得不同地表覆盖和坡度条件下的面积权重,并借鉴《场地规划与设计手册》中整合坡度之后的合理化方法的径流系数,获得区域综合径流系数<sup>[18]</sup>。

1.2.2 绿色空间可达性

对于绿色空间可达性优先级,指标是无法在公园 10 min 步行距离内的人口数,其人口数越大表示可达性越差,应为绿色空间可达性的优先区域。

运用 GIS 叠置分析计算落在公园 800 m 步行距离之外的每个街道区域的总面积的百分比,然后将百分比乘以街道总人口,得出每个街道无法在公园 10 min 步行距离内人口。该方法不考虑公园规模和品质,同时步行距离仅使用缓冲区分析,不考虑道路网络结构<sup>[19-20]</sup>。

1.2.3 缓解热岛效应

对于缓解热岛效应的优先级,是根据区域温度来评估热岛效应。温度越高区域热岛效应越明显,应视为缓解热岛效应的优先区域。

为获得区域温度,利用合肥市 2016 年 7 月 25 日 landsat-8 OLI/TIRS 影像数据,基于大气校正法,计算地表比辐射率、黑体辐射亮度等参数,对地表温度进行反演,通过极差标准化处理得到合肥市地表温度,通过 GIS 将街道与温度分布图叠加统计出各街道温度<sup>[21]</sup>。

1.2.4 净化空气

为评估净化空气的优先级使用合肥市空气中最主要污染物 PM<sub>2.5</sub> 浓度来确定。PM<sub>2.5</sub> 浓度大的区域应是净化空气的优先区域。

为获得合肥市各街道 PM<sub>2.5</sub> 浓度,根据合肥市 10 个国家空气监测站统计的 PM<sub>2.5</sub> 数据,将合肥 2017 年 4 月平均数据作为基础数据通过 GIS 平台中克里金插值分析法统计出合肥市 PM<sub>2.5</sub> 浓度分布,通过 GIS 将街道与 PM<sub>2.5</sub> 浓度分布图叠加统计出各街道 PM<sub>2.5</sub> 浓度<sup>[22]</sup>。

### 1.2.5 景观连通性

景观连通性优先级,是使用景观分析中常用软件 Fragstats 中的 Patch Cohesion Index 指标来评估各街道生物栖息地斑块的物理连通性<sup>[23]</sup>。根据生态土地利用互补理论<sup>[24]</sup>,现有森林的区域有利于聚集附近的新植被,所以景观连通性评分较高的区域应作为景观连通性的优先区域。

### 1.3 评价方法及指标权重

在构建五个功能指标的优先级分析图后,对相关利益者进行了一次调查,通过咨询相关专家、合肥市居民以及政府机构,让他们综合分析比较五个功能之间的重要性。通过对调查结果进行统计,运用 AHP 分析法得出雨洪管理、绿色空间可达性、缓解热岛效应、净化空气和景观连通性的相应权重是 0.33、0.19、0.1、0.23、0.15。然后将相应功能的权重属性导入 GIS 平台,对五个功能指标的优先级分析图对进行加权叠加分析,从而得出包含利益相关者权重的合肥市绿色基础设施选址优先级评价图。

## 2 结果与讨论

### 2.1 合肥市绿色基础设施选址优先级评价

运用 GISP 模型得到合肥市绿色基础设施选址优先级评价图(图 2),可以看出,绿色基础设施选址优先级存在显著的差异。绿色基础设施雨洪管理效益需求较高的区域集中在合肥市一环周边、东部及西南地区,该

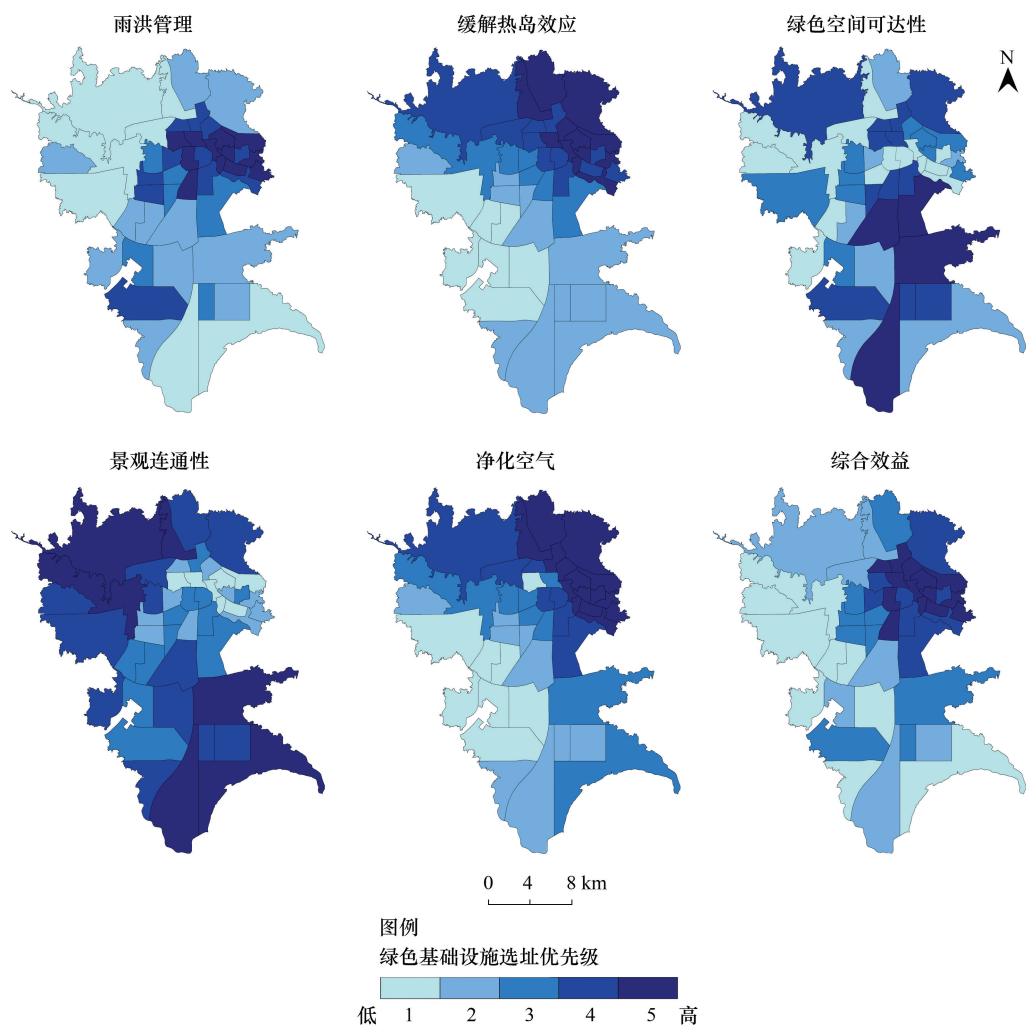


图 2 绿色基础设施选址优先级评价图

Fig.2 Evaluation map of green infrastructure location prioritization

地区多属于老城区,绿地覆盖率较低,雨水收集、存储的功能较弱;绿色基础设施缓解热岛效益需求较高的区域集中在合肥东北、北部地区,该地区是合肥市人口、建筑密度较高的区域,居住、商业、广场等为主体的用地性质也加剧了热岛效应;绿色基础设施绿色空间可达性需求总体呈现高、较高或中等的程度,表明合肥市绿地公园的数量及服务范围均不够理想;绿色基础设施景观连通性需求总体呈现高、较高或中等的程度,仅中东部少数街区有较低的需求,表明合肥市绿地斑块的连通性一般;绿色基础设施净化空气效益需求较高的区域集中在东北、北部地区,该地区交通流量和产业较集中,

PM<sub>2.5</sub>浓度值是最高的区域。总体而言,绿色基础设施选址的高需求区域为城市一环内及东北区域,这与该地区的用地性质和建设强度是紧密联系的。运用 GISP 模型可以得到绿色基础设施选址的高需求地区,这对于城市规划师选择较高绿色基础设施需求的场地及提升城市生态弹性力,具有重要的意义。

## 2.2 合肥绿色基础设施生态系统服务不同功能的空间关系

空间协同关系表明不同功能在空间表现协调共生,是一种正向关系,空间权衡关系表明不同功能在空间表现制约拮抗,是一种负向关系。合肥市各街区绿色基础设施不同功能的需求存在显著的空间差异,例如雨洪管理优先级高的区域,绿色空间可达性不一定高,相反部分区域景观连通性是最低的。特别是净化空气和缓解热岛效应都与景观连通性优先区域差异比较大。但是,净化空气、缓解热岛效应以及雨洪管理上存在着相似性。运用 SPSS 软件分析雨洪管理、缓解热岛效应、净化空气、绿色空间可达性以及景观连通性等指标的相关性(图 3),发现雨洪管理与景观连通性空间权衡关系显著,雨洪管理与绿色空间可达性有一定空间权衡关系,雨洪管理与缓解热岛效应、净化空气有一定空间协同关系,缓解热岛效应和净化空气空间协同关系显著,景观连通性与缓解热岛效应、净化空气空间权衡关系较显著。

这些空间关系表明,争取绿色基础设施的多功能性是一个协调的目标。例如,构建城市生态网络以加强生态斑块之间的连接,提升景观连通性,而增加的绿地空间可以缓解热岛效应和净化空气。因此,如果能处理好绿色基础设施功能空间协同和权衡的关系,最大潜力的加强城市生态弹性力。

## 3 讨论

运用 GISP 模型得到合肥市绿色基础设施选址高需求区域是否与合肥市绿色基础设施相关规划一致?以合肥市生态建设方面的规划为对象,选取合肥生态空间体系控制规划以及合肥市域空间绿道网络系统建设总体规划,对比 GISP 模型得到合肥市绿色基础设施选址高需求区域与合肥市绿色基础设施规划(图 4),可以看出规划中绿地选址并不在绿色基础设施的热点区域,尤其合肥市东北作为绿色基础设施需求最高的区域,规划中仅有绿道,缺少绿地公园等块状绿地斑块。进一步分析合肥市绿色基础设施相关规划与绿色基础设施生态服务功能多样性之间的关系(图 5),发现合肥生态空间体系控制规划对景观连通性促进作用最强,同时在绿色空间可达性上也有一定的加强作用,但与雨洪管理、净化空气以及缓解热岛效应上呈现着负相关,体现在绿色基础设施规划没有布置在雨洪管理、净化空气及缓解热岛效应优先区域。同样分析合肥市域空间绿道网络系统建设总体规划结果亦然,且只在景观连通性上表现较大正相关。总体而言,绿色基础设施多功能性是规划的依据,GISP 模型得到合肥市绿色基础设施选址高需求区域不仅体现绿色基础设施空间布局的合理性,还显示生态系统服务功能的多样性,合肥市绿色基础设施相关规划应综合考虑绿色基础设施空间布局及

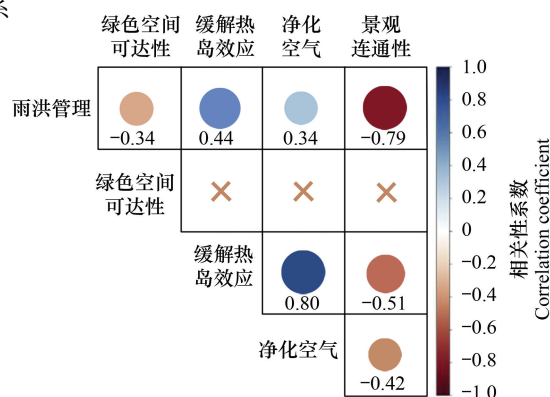


图 3 指标相关性

Fig.3 Indicators relevance

圆圈的直径大小和颜色描绘了 GISP 模型指标的 Pearson 相关系数。较大的圆圈表示较强的负(红色)或正性(蓝色)关系。标有“X”的不具有统计意义

其生态系统服务功能多样性,进而获得更大的城市生态弹性力。

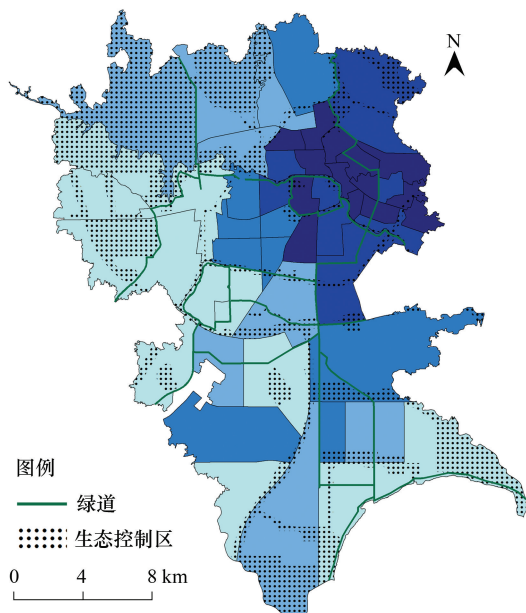


图 4 合肥绿色基础设施规划图

Fig.4 Hefei green infrastructure planning

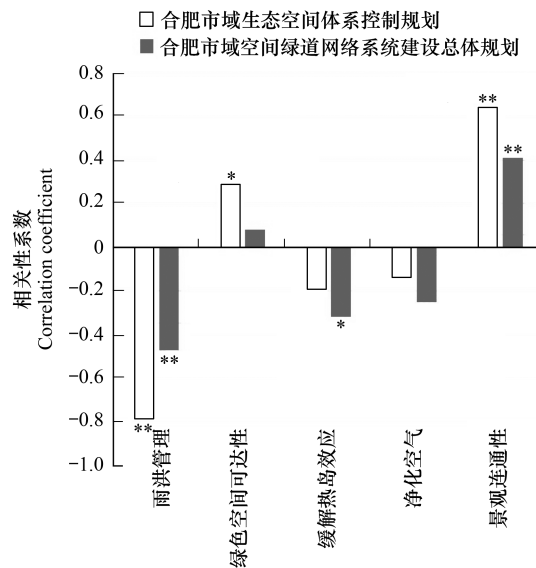


图 5 功能优先级与规划相关性分析

Fig.5 Correlation analyses of functional priorities and planning

“\*”表示相关性在  $P < 0.05$  时具有统计显著性; “\*\*”表示在  $P < 0.01$  时具有统计显著性

#### 4 结论

GISP 模型提供了一个灵活的工具,运用绿色基础设施多样性评估来促进土地利用治理,通过增强非生物、生物和社会系统之间的积极协同作用实现多功能生态系统服务潜力,获得更大的城市生态弹性力。绿色基础设施模型为城市绿地系统规划提供了方法,改变了城市绿地规划中只注重点、线、面的形态分析,综合考虑生态系统及其功能的完善,将绿地建设的质量因素和生态功能上的评判标准;包括绿地景观的多样化、绿地系统的连续性、绿地连通性、缓解热岛效应等纳入绿色基础设施规划模型,实现的诸如雨洪管理、净化空气以及绿色空间可达性等生态目标效果评价,同时以及绿色基础设施规划模型的优先级为绿地系统分期规划提供了参考。合肥市绿色基础设施相关规划中绿地选址并不在绿色基础设施的高需求区域,并没有在战略上整合绿地多功能的生态系统服务,以获得更大的生态弹性力。最后,本研究在存区域的整体情况与居民调查缺少相应的评析,此处需进一步研究,但整体效益的优先级是将来研究的方向。

#### 参考文献 (References):

- [1] 王云霞, 陆兆华. 北京市生态弹性力的评价. 东北林业大学学报, 2011, 39(2): 97-100.
- [2] Lennon M, Scott M. Delivering ecosystems services via spatial planning: reviewing the possibilities and implications of a green infrastructure approach. Town Planning and Architecture, 2014, 85(5): 563-588.
- [3] Wilkinson C. Social-ecological resilience: insights and issues for planning theory. Planning Theory, 2012, 11(2): 148-169.
- [4] Madureira H, Andresen T. Planning for multifunctional urban green infrastructures: promises and challenges. URBAN DESIGN International, 2014, 19(1): 38-49.
- [5] Andersson E, Barthel S, Borgström S, Colding J, Elmqvist T, Folke C, Gren Å, et al. Reconnecting cities to the biosphere: stewardship of green infrastructure and urban ecosystem services. Ambio, 2014, 43(4): 445-453.
- [6] Kambites C, Owen S. Renewed prospects for green infrastructure planning in the UK. Planning Practice & Research, 2006, 21(4): 483-496.
- [7] Garcia-Cuerva L, Berglund E Z, Iii L R. An integrated approach to place green infrastructure strategies in marginalized communities and evaluate stormwater mitigation. Journal of Hydrology, 2018, 559: 648-660.

- [ 8 ] Kremer P, Hamstead Z A, McPhearson T. The value of urban ecosystem services in New York City: a spatially explicit multicriteria analysis of landscape scale valuation scenarios. *Environmental Science & Policy*, 2016, 62: 57-68.
- [ 9 ] Kabisch N, Frantzeskaki N, Pauleit S, Naumann S, Davis M, Artmann M, Haase D, Knapp S, Korn H, Stadler J, Zaunberger K, Bonn A. Nature-based solutions to climate change mitigation and adaptation in urban areas: perspectives on indicators, knowledge gaps, barriers, and opportunities for action. *Ecology and Society*, 2016, 21(2): 39.
- [ 10 ] Saaroni H, Amorim J H, Hiemstra J A, et al. Urban Green Infrastructure as a tool for urban heat mitigation: Survey of research methodologies and findings across different climatic regions. *Urban Climate*, 2018, 24: 94-110.
- [ 11 ] Sandström U G. Green infrastructure planning in urban Sweden. *Planning Practice & Research*, 2002, 17(4): 373-385.
- [ 12 ] Tzoulas K, Korpela K, Venn S, Yli-Pelkonen V, Kaźmierczak A, Niemela J, James P. Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: a literature review. *Landscape and Urban Planning*, 2007, 81(3): 167-178.
- [ 13 ] Newell J P, Seymour M, Yee T, Renteria J, Longcore T, Wolch J R, Shishkovsky A. Green Alley Programs: planning for a sustainable urban infrastructure? *Cities*, 2013, 31: 144-155.
- [ 14 ] Ahern J. Urban landscape sustainability and resilience: the promise and challenges of integrating ecology with urban planning and design. *Landscape Ecology*, 2013, 28(6): 1203-1212.
- [ 15 ] Hansen R, Pauleit S. From multifunctionality to multiple ecosystem services? A conceptual framework for multifunctionality in green infrastructure planning for urban areas. *Ambio*, 2014, 43(4): 516-529.
- [ 16 ] Conine A, Xiang W N, Young J, Whitley D. Planning for multi-purpose greenways in Concord, North Carolina. *Landscape and Urban Planning*, 2004, 68(2-3): 271-287.
- [ 17 ] Meerow S, Newell J P. Spatial planning for multifunctional green infrastructure: growing resilience in Detroit. *Landscape and Urban Planning*, 2017, 159: 62-75.
- [ 18 ] 刘兴坡, 于腾飞, 李永战, 胡小婷, 丁永生. 基于遥感图像的汇水区域综合径流系数获取方法. *中国给水排水*, 2016, 32(9): 140-143.
- [ 19 ] Wolch J, Wilson J P, Fehrenbach J. Parks and Park Funding in Los Angeles: an equity-mapping analysis. *Urban Geography*, 2005, 26(1): 4-35.
- [ 20 ] 董仁才, 张娜娜, 李思远, 张永霖, 王韬, 付晓. 四个可持续发展实验区绿地系统可达性比较研究. *生态学报*, 2017, 37(10): 3256-3263.
- [ 21 ] 祝新明, 王旭红, 周永芳, 吴文恒, 刘状. 建成区扩张下的西安市热环境空间分异性. *生态学杂志*, 2017, 36(12): 3574-3583.
- [ 22 ] 张朝能, 王梦华, 胡振丹, 袁园, 刘慧, 邱飞. 昆明市 PM<sub>2.5</sub> 浓度时空变化特征及其与气象条件的关系. *云南大学学报: 自然科学版*, 2016, 38(1): 90-98.
- [ 23 ] 刘晓君, 李占斌, 李鹏, 张铁钢, 徐国策, 高海东. 基于土地利用/覆被变化的流域景观格局与水沙响应关系研究. *生态学报*, 2016, 36(18): 5691-5700.
- [ 24 ] Colding J. 'Ecological land-use complementation' for building resilience in urban ecosystems. *Landscape and Urban Planning*, 2007, 81(1/2): 46-55.