

基于生态安全格局的公园城市建设分析

赵础昊¹ 徐芳芳²¹

(1. 清华大学公共管理学院, 北京 100084;

2. 中共天津市委党校, 天津 300191)

【摘要】:“公园城市”的提出是以生态文明为引领实现美丽中国目标的体现,也是探索城市发展规划格局的全新升华。以“公园城市”的首提地成都为例,综合使用MCR模型等构建生态阻力面并提取生态廊道,并对当前成都生态安全格局进行空间耦合匹配分析,结果表明:(1)研究区生态源地主要集中在西部和北部,多以林地为主,其余生态源地分布较为分散,以水体和湿地为主。(2)生态重心主要向西倾斜,且城市生态格局受地形等的影响呈南北走向,城市主城区尚有生态潜力较大区域。(3)生态节点之间连通性尚有待加强,需进一步开发和完善环城、环湖等城市绿化系统,加强生态景观之间的连通性。

【关键词】:生态安全格局 MCR模型 公园城市

【中图分类号】: F062.2; F291.1 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1671-4407(2022)03-220-08

1 问题的提出

2018年2月11日,习近平总书记在成都天府新区考察时,首次提出了建设公园城市的理念,特别指出“要突出公园城市特点,把生态价值考虑进去”。这是当前以生态文明为引领实现美丽中国目标的最新思想,也是探索城市发展规划格局的全新升华,需要在城市建设过程中兼顾生态价值与人文价值,形成人与自然和谐发展的新格局。城市是人与自然共生关系的空间映射,城市发展理念的升级本质上也体现出人对自然环境适应与改造的过程,伴随着全球化与城市化的加快,如何最大限度地利用城市本就有土地空间和要素资源,如何为尽可能多的人口提供完善公共服务和生存环境,成为当前世界各国需要面对的共同问题。

关于城市发展类型的研究中,较为经典的理论有埃比尼泽·霍华德^[1]在《明日:一条通往真正改革的和平道路》(后再版改名为《明天的田园城市》)中提出的“花园城市”;柯西布耶^[2]在《明日之城市》中提出的“明日城市”;赖特^[3]提出的“明日城市”;美国肯尼迪政府于1962年在户外娱乐资源调查中提出的“森林城市”;联合国教科文组织于1971年提出的“明日城市”;1984年钱学森在致《新建筑》编辑部的信中提出了构建“园林城市”设想^[4],随后在1992年他再次提出要建成“山水城市”^[5];联合国人居署于1990年提出的“可持续城市”;世界卫生组织于1994年提出的“健康城市”;1996年在土耳其伊斯坦布尔召开的联合国第二次人居大会上提出的“宜居城市”;2002年倡导地区可持续发展国际理事会(ICLEI)首提“韧性城市”;2003年英国贸工部发布的能源白皮书《我们能源的未来:创建低碳经济》中提到的“低碳城市”;2012年我国在低碳城市与区域发

¹作者简介:赵础昊,博士,助理研究员,清华大学公共管理学院博士后,研究方向为区域经济、高质量发展。E-mail:zhaochu-hao@mail.tsinghua.edu.cn;徐芳芳,博士,讲师,研究方向为预算绩效。E-mail:977706515@qq.com

基金项目:国家社会科学基金青年项目“中国省级数字政府公共价值评价及提升策略研究”(20CGL060);中共天津市委党校青年马克思主义者培育项目“大数据下的中国政府预算绩效管理创新机制研究”(20QMWT08)

展科技论坛中首次提出“海绵城市”。

关于城市发展格局的研究中，方创琳^[9]提出了中国城市发展格局优化的六大理论，认为要构建宏观、中观和微观三个层次组成的中国城市发展格局优化系统框架体系；李国平和孙铁山^[10]提出了在功能整合上要强调分工与合作，促进区域城市网络的形成，在区域治理上要通过对话、协调与合作实现权利平衡和利益分配；秦蒙等^[11]认为应加强对城市蔓延，尤其是小城市无序蔓延的治理和管控，坚持空间紧凑式的城市发展模式；刘莉^[12]认为城市经济空间正在经历“分异”和“接合”的辩证趋势，形成了“多核”“带状”“接入性”等普遍的地理趋势；张欢等^[13]构建了城市群宜业与生态宜居融合协同、均衡化发展分析框架；修春亮等^[14]提出了基于“规模—密度—形态”的三维城市韧性研究框架。此外，世界多数城市在空间格局的开发与优化中，都制订了体现人与自然和谐共生的规划目标，作为客观测度城市可持续发展水平与状态的重要标尺，如鲁尔绿色大都市建设指标体系、新加坡花园城市指标体系、墨尔本开放空间战略指标体系等。

总体来看，城市空间形态的优化改进是与人类文明转型升级相匹配的，都是在有限资源和人口集中的背景下探索人类社会与自然关系平衡的“最优解”，“公园城市”理念就是当前开辟永续发展新空间的时代命题^[15]，反映了新时代改善人居环境、优化城市空间的生态文明观和城市治理观。广义来看，“公园城市”理念内涵丰富，涉及城市发展的各个方面，包括以“美丽中国”为引领的绿色发展观、构筑山水林田湖生命共同体的生态文明观、以文化人诗意栖居的人文价值观、人城境业高度统一的城市治理观等特点；狭义来看，“公园城市”是生产、生活、生态三者有机融合的“道法自然”式的城市布局，形成以城市公园、生态廊道、绿道系统为基础，引领城市功能和城市形态的“活”的有机体。本文借鉴生态学等多学科的研究方法，以“公园城市”的首提地成都为例，从生态安全格局和景观连通性的角度分析当前成都在建设公园城市中存在的问题以及改进建议。

2 数据来源及研究方法

2.1 研究范围

本文选择成都为研究范围，成都作为成渝地区双城经济圈核心城市之一，当前的城市规划中已形成“东进、南拓、西控、北改、中优”五大区域差异化发展新格局，正由“两山夹一城”向“一山连两翼”转变，在推动建设践行新发展理念的公园城市示范区方面也卓有成效，目前，已经建成各级绿道 3689 千米，新增绿地面积 3885 万平方米，森林覆盖率达 39.93%，建成区绿化覆盖率达 43.5%¹，具有良好的生态环境基础和绿色发展底蕴，研究区土地利用类型分布如图 1 所示²。

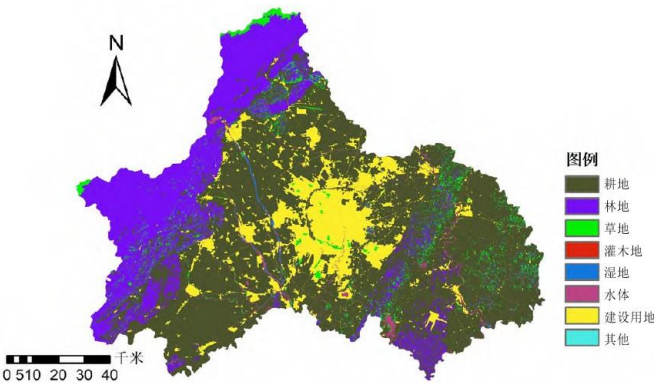


图 1 研究区土地利用类型分布

2.2 数据来源

本文所用到的数据包括土地利用类型数据、DEM 数据、坡度数据、水体数据、高速公路数据、国道数据、省道数据、县道数据、公园分布数据，其中：土地利用类型数据来源于国家基础地理信息中心全球地表覆盖数据产品服务网站（DOI:10.11769），GlobeLand30 地表覆盖数据包含了耕地、森林、草地、灌木地、湿地、水体、苔原、人造地表、裸地、冰川和永久积雪 10 种主要地表覆盖类型。DEM 数据来源于地理空间数据云平台中 GDEM V230 米分辨率的数字高程数据。坡度数据以 DEM 数据为基础，通过 ArcGIS10.7 软件 Spatial Analyst 工具箱表面分析模块中的坡度分析进行计算得到。水体数据、高速公路数据、国道数据、省道数据、县道数据来源于北京大学地理数据平台。成都公园名录来源于成都人民政府门户网站，其地理经纬度坐标数据来源于高德数据开放云平台经纬度拾取，所有数据统一投影在 WGS-1984-UTM-zone-48 坐标系下进行处理，具体评价指标体系所示^[16]。

2.3 研究方法

2.3.1 MCR 模型

MCR 模型（minimum cumulative resistance）最早由荷兰生态学家 Knaapen 等^[17]于 1992 年提出，其后经学者不断发展完善，现已在生态学等研究中进行广泛应用，以模拟出生态阻力在空间上的分布及扩张过程，即各种生态“源”在到达空间中任一单元时所需要克服的阻力总和，根据扩张过程中的不同阻力值大小，反映出城市土地单元与生态源地之间的连通性，以此为基础判断城市土地空间开发和建设的适宜性^[18]，本文将其迁移到公园城市的格局分析中，MCR 模型的表达式如公式（1）所示：

$$MCR = f_{\min} \sum_{j=n}^{i=m} D_{ij} \times R_i \quad (1)$$

式中：MCR 为最小累积阻力值， D_{ij} 为从生态源 i 到土地单元 j 的距离， R_i 为阻力系数，根据生态源地与建设用地的不同扩张方式，可以计算出最小累积阻力差值，如公式（2）所示：

$$MCR_{\text{差值}} = MCR_{\text{生态}} - MCR_{\text{建设}} \quad (2)$$

式中： $MCR_{\text{生态}}$ 为城市生态源地向外扩张的最小累积阻力面， $MCR_{\text{建设}}$ 为城市建设用地向外扩张的最小累积阻力面， $MCR_{\text{差值}}$ 为二者差值，当 $MCR_{\text{差值}} > 0$ 时表示该区域有利于城市建设，当 $MCR_{\text{差值}} < 0$ 时表示该区域有利于生态建设，当 $MCR_{\text{差值}} = 0$ 时表示该区域建设用地扩张阻力与生态建设扩张阻力相等^[19]。

2.3.2 空间主成分分析

空间主成分分析法（SPCA）能够将多个空间变量通过降维的方式提取出主要影响因子，实现对多维变量的简化与综合，通过 ArcGIS10.7 软件多元分析功能中的主成分分析工具，输入各评价指标对应的栅格数据，根据提取出每个主成分对应的空间载荷矩阵和方差贡献率，计算出各个评价指标的权重，相对更为客观准确，将评价指标权重与各个指标对应的栅格数据进行加权汇总，可以得到当前成都生态安全格局的空间分布情况，计算公式为：

$$E = \sum_{j=1}^m p_{ij} w_j \quad (3)$$

式中： E 为第 i 个评价单元（栅格）的生态安全指数； p_{ij} 为第 i 个单元的第 j 个指标； w_j 为各指标的权重^[20]。

2.3.3 重力模型

基于 MCR 模型可以得到生态扩张累积阻力面, 结合 ArcGIS10.7 软件 Spatial Analyst 模块中的成本距离和成本路径功能, 计算出生态源地在扩张过程中的生态廊道, 通过重力模型计算出生态源地之间的相互作用强度, 以此为基础提取重要潜在生态廊道, 为进一步优化公园城市格局提供参考, 重力模型如公式 (4) 所示:

$$G_{ij} = \frac{N_i N_j}{D_{ij}^2} = \frac{\left[\frac{1}{P_i} \times \ln(S_i) \right] \left[\frac{1}{P_j} \times \ln(S_j) \right]}{\left(\frac{L_{ij}}{L_{\max}} \right)^2} = \frac{L_{\max}^2 \ln(S_i S_j)}{L_{ij}^2 P_i P_j} \quad (4)$$

式中: G_{ij} 为生态源地 i 与 j 之间的相互作用强度, 该值大小体现了生态源地之间潜在生态廊道的重要程度, N_i 和 N_j 分别为生态源地 i 与 j 的权重系数, D_{ij} 为生态源地 i 与 j 之间潜在生态廊道标准化后的距离成本值, P_i 和 P_j 分别为生态源地 i 与 j 之间的总体距离成本值, S_i 和 S_j 分别为生态源地 i 与 j 各自的面积, L_{ij} 为生态源地 i 与 j 之间潜在生态廊道的累积距离成本值, $L_{\max}$ 为各生态源地之间所有潜在生态廊道距离成本的最大值^[21]。

3 研究过程

3.1 确定源地

生态源地通常是指生境质量较高, 生态功能良好, 生物资源丰富的集聚地, 具有稳定性、扩展性等特点, 结合前人研究成果和本文研究区域的实际情况, 确定对研究区生态环境改善具有重要意义的林地、大面积的河流湖泊和生态保护区为源地, 最终选择林地、草地、湿地、水体面积大于 3 平方千米的斑块作为本文研究的生态源地 (图 2), 选择土地利用类型中的城市建设用地作为建设源地。



图 2 研究区生态源地分布

从图 2 中可以看出当前成都生态源地主要集中在西部和北部, 多以林地为主, 其余生态源地分布较为分散, 以水体和湿地为

主。建设源地主要集中在城市中心城区以及各区县的中心区域。

3.2 确定阻力系数

利用 ArcGIS10.7 软件多元分析功能中的主成分分析工具,输入本文研究中各个评价指标对应的栅格数据,可以得出 8 个主成分对应的因子载荷矩阵、特征值及其贡献率。从中可以看出前 6 个主成分的累积贡献率已超过 90%,表明前 6 个主成分已能够体现出当前成都的生态安全信息,结合主成分贡献率及其对应的因子载荷矩阵,可以得出各评价指标在生态安全格局中的权重。

从中可以看出, F_1 因子中高程的载荷 (0.3601) 较高,表明成都所处地形复杂多样,当前对城市空间布局的影响依然较高,下一步进行空间格局优化应充分与实际结合。 F_2 因子中的距省道距离、 F_3 因子中的距县道距离、 F_4 因子中的距国道距离以及 F_6 因子中的距高速距离载荷均较高,分别为 0.7397、0.8391、0.5357、0.7115,表明当前交通布局对城市发展有着显著影响。 F_5 因子中距水体距离的载荷较高 (0.7437),体现出水资源对当前成都生态安全格局的重要性。在借鉴已有研究的基础上^[22],根据各评价指标对生态源地扩张的不同影响,得出其阻力等级区间。

3.3 构建生态阻力面

根据各评价指标对生态源地扩张的阻力等级区间,在 ArcGIS10.7 中利用重分类工具将各指标重新划分为 1~5 级,并根据距水体距离、距高速距离、距国道距离、距省道距离、距县道距离对应的等级范围构建出多环缓冲区,所有数据按照划分等级均转换为栅格数据,如图 3 所示。

根据图 3 中各评价指标的分级结果,利用栅格计算器工具根据公式 (3) 并结合各评价指标权重进行加权汇总,根据阻力值大小通过自然断点分级法将研究区阻力等级分为四类,可以得到当前研究区生态扩张的阻力等级分布,如图 4 所示。根据图 4 可以得出当前成都不同阻力等级区域的基本情况。

当前成都生态扩张的高阻力、较高阻力区域占比 (36.25%、36.89%) 仍较高,具体表现在耕地面积占比较高,且主要分布在东部和中部区域,需在实现有序退耕还林的基础上继续加强生态安全建设,提高生态环境保护力度,加强与生态源地之间的连通度,当前成都的区域规划中提出要将龙泉山由过去的生态屏障向生态绿心转变,实现城市格局转变为“一山连两翼”,需要进一步加强以龙泉山为中心的森林公园防护力度,提高其作为生态源地的扩张与辐射作用。结合上述分析结果,利用 ArcGIS10.7 软件 SpatialAnalyst 模块中的成本距离分析工具,可以生成当前研究区生态扩张与建设扩张的阻力面,如图 5 所示。

3.4 提取潜在生态廊道

结合上述分析并根据最小累积阻力模型,利用栅格计算器生成当前研究区最小累积阻力差值面,见图 6。

根据图 6 结果,利用 ArcGIS10.7 软件 Spatial Analyst 模块中的成本路径分析工具,可以生成各个生态源地斑块之间的最小成本路径,通过公式 (4) 可以计算出各生态源地最小成本路径的相互作用强度。

根据结果并剔除重复以及距离过近等廊道,共获得 18 条潜在生态廊道,将其与生态源地、最小累积阻力面进行图层叠加,可以得到当前成都生态安全格局,如图 7 所示。

从图 7 中可以看出,当前成都的生态安全格局由生态源地、生态节点、生态廊道以及各阻力区构成,可以为下一步成都建设公园城市提供参考。从上图中可以发现成都生态重心向西倾斜,且城市生态格局受山脉、河流等的影响呈南北走向,城市主城区尚有生态潜力较大区域,生态节点之间连通性有待加强,需要进一步提高生态廊道的连通作用。此外,生态扩张的高阻力地区主

要集中在城市东部，当前成都已成立“东部新区”，作为在高水平建设成渝双城经济圈中的率先布局，要将“公园城市”理念有机融合在城市规划当中。

3.5 空间耦合匹配分析

由于生态源地通常是由大面积的成片林地、湿地、水体及风景名胜区等构成，与公园景观的分布具有内在一致性，是公园城市建设的重要研究对象，因此在获得生态节点与重要潜在生态廊道后，可以与当前成都公园分布情况进行对比分析，通过统计两种要素在各区县范围内的分布情况，得出成都生态格局的耦合匹配程度。首先将两类指标分别转换为栅格数据，在 ArcGIS10.7 的 Spatial Analyst 工具区域分析模块中，选择以表格显示分区统计并输入两类栅格数据集，采用自然断点分级法进行分类，得到当前成都生态源地与公园分布情况及其耦合匹配程度，结果如图 8 所示。

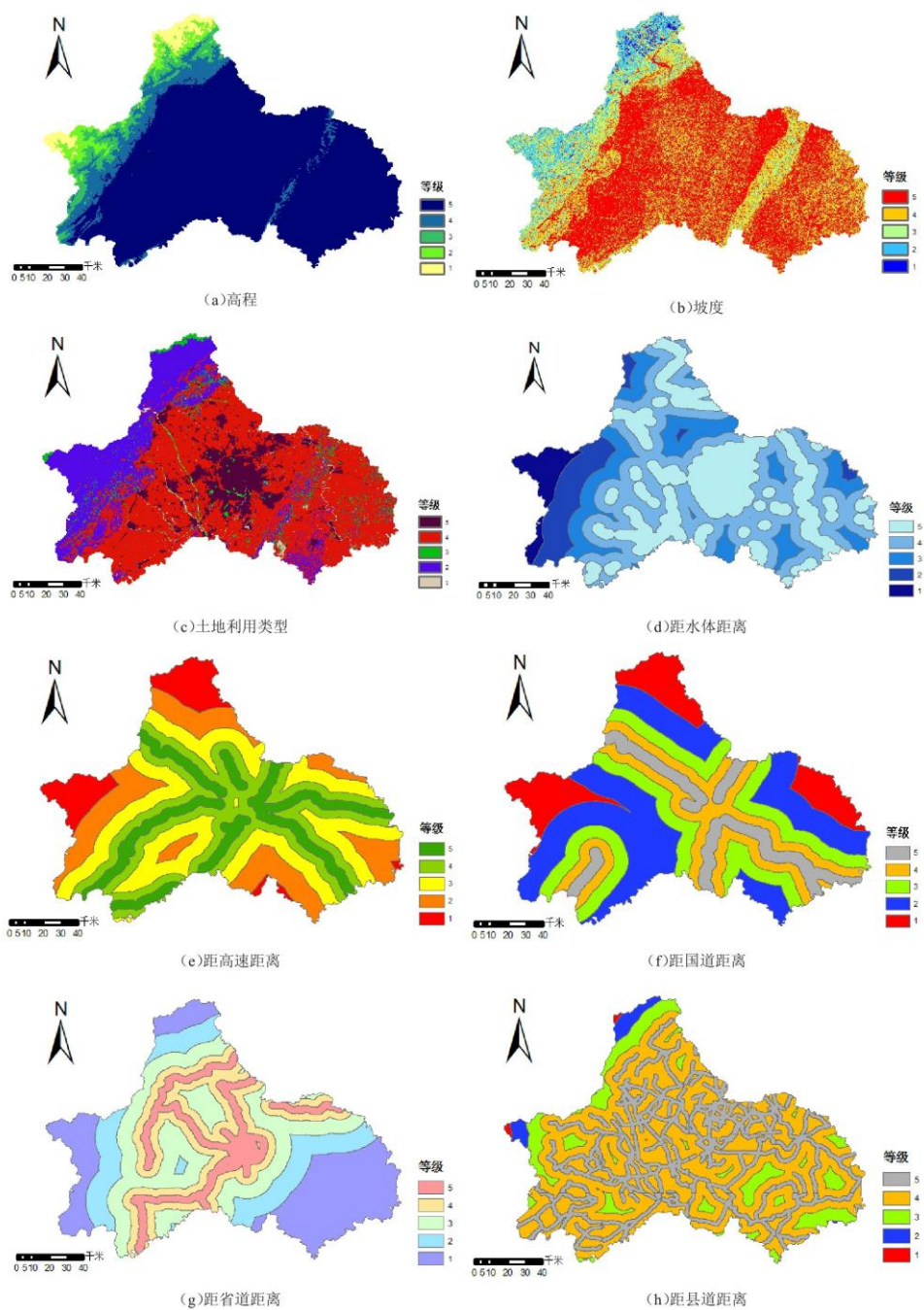


图 3 研究区生态安全评价指标等级分布

从图 8 中可以看出，成都生态源地主要集中在西部和南部，公园主要分布于中部和北部，耦合匹配分布中大体呈现由城市外围向中心依次递减趋势，成都拥有较好的生态环境基础和绿色发展底蕴，城市绿道体系已初步形成体系，湿地生态系统、市域绿地系统等也较为完备，下一步需进一步开发和完善环城、环湖等城市绿化系统，加强生态景观之间的连通性，营造休闲游憩空间，塑造优美山水格局。

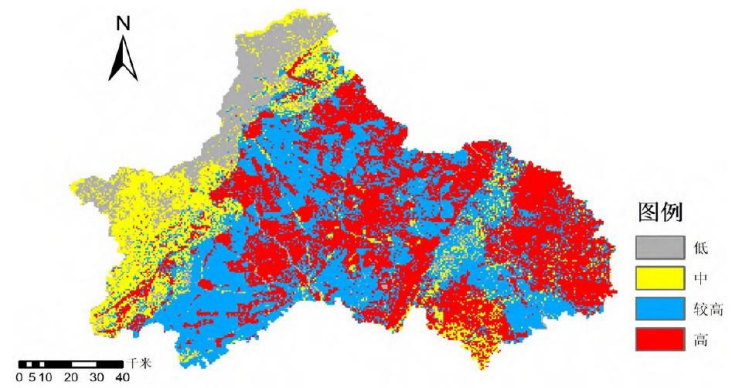


图 4 研究区生态扩张阻力等级分布

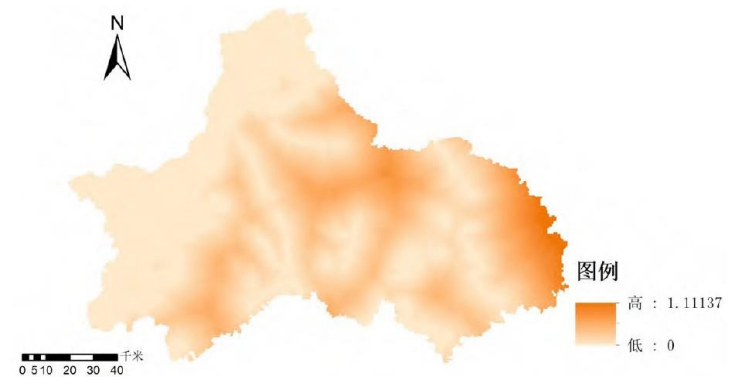


图 5 生态源地扩张阻力基面

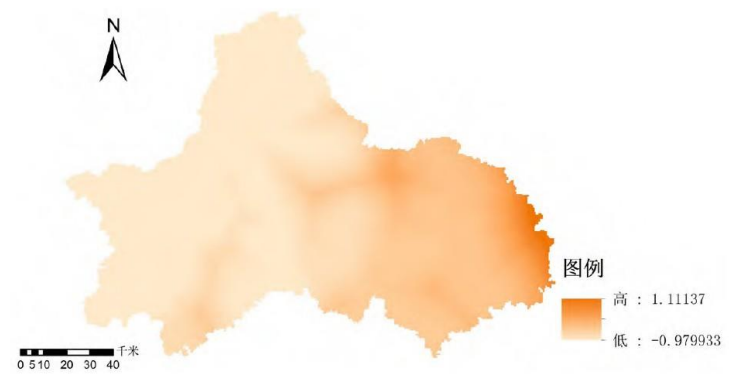
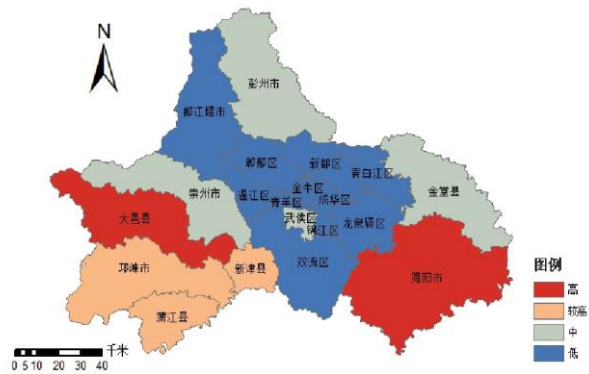


图6 最小累积阻力差值面



图7 研究区生态安全格局



(a)生态源地分布情况



(b)公园分布情况



(c)耦合匹配程度

图 8 生态源地与公园分布及耦合匹配程度

4 建议

(1) 以生态格局为基础布局“公园城市”。建成生态源地、生态节点、生态廊道有机统一的生态安全格局，根据三者不同功能发挥其作用，以此为基础推进“公园城市”建设。

(2) 以城市绿道为支撑连通生态景观。成都市第十三次党代会上提出了要“构建生态区、绿道、公园、小游园、微绿地五级城市绿化系统”，而且要“重塑城市空间结构和经济地理……通过绿道系统，能够打破原来的屏障，打破圈层式的结构，实现经济、物流等各要素的流动。”根据上文分析发现，当前成都生态重心主要集中在西部，中部和东部尚有较强的生态潜力，而公园城市的重要特点就是景观之间的连通度，通过城市绿道系统可以串联起生态资源与人文景观并进行有机结合，提升城市的品牌价值。此外，可以通过建设选址灵活、使用高效的口袋公园，以满足高密度中心城区居民对公园的需求。

(3) 以绿色发展为底蕴推进城市治理。公园城市作为体现新发展理念的高级城市形态，不仅是生态格局与城市空间的有机结合，同样也是自然生态系统与经济社会治理的深度融合，2020 年 10 月在第二届公园城市论坛上发布的《公园城市指数（框架体系）》中，构建了和谐共生、品质生活、绿色发展、文化传扬、现代治理等 5 个维度 15 个方面的公园城市评价指标体系，可作为评价“公园城市”建设的度量标尺。

综合来看“公园城市”内涵丰富，不仅有狭义上的城市空间优化与布局重塑，也有广义上的城市治理观与发展观的转变，本文选择自然与社会共 8 个方面的指标从生态安全格局的角度进行了分析，对于影响“公园城市”建设的重要社会经济指标，未能直接反映在城市地理空间中，因此暂未将其考虑在评价指标体系当中。

参考文献：

- [1]埃比尼泽·霍华德. 明日的田园城市[M]. 金经元, 译. 北京: 商务印书馆, 2000.
- [2]勒·柯西布耶. 明日之城市[M]. 李浩, 译. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
- [3]荆其敏, 张丽安. 弗兰克·劳埃德·赖特[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2007.
- [4]王香春, 王瑞琦, 蔡文婷. 公园城市建设探讨[J]. 城市发展研究, 2020(9):19-24.
- [5]吴良镛. 关于山水城市[J]. 城市发展研究, 2001(2):17-18.
- [6]Safa M, Jorge R, Eugenia K, et al. Modeling sustainability: Population, inequality, consumption, and bidirectional coupling of the earth and human systems[J]. National Science Review, 2016, 3(4):470-494.
- [7]赵瑞东, 方创琳, 刘海猛. 城市韧性研究进展与展望[J]. 地理科学进展, 2020(10):1717-1731.
- [8]杨默远, 刘昌明, 潘兴瑶, 等. 基于水循环视角的海绵城市系统及研究要点解析[J]. 数量经济技术经济研究, 2020(9):1831-1844.
- [9]方创琳. 中国城市发展格局优化的科学基础与框架体系[J]. 经济地理, 2013(12):1-9.

-
- [10]李国平,孙铁山.网络化大都市:城市空间发展新模式[J].城市发展研究,2013(5):83-89.
- [11]秦蒙,刘修岩,李松林.城市蔓延如何影响地区经济增长?——基于夜间灯光数据的研究[J].经济学(季刊),2019(2):527-550.
- [12]刘莉.历史-地理唯物主义视野中城市经济空间的演进路径与地理趋势[J].学术研究,2018(11):28-34.
- [13]张欢,汤尚颖,耿志润.长三角城市群宜业与生态宜居融合协同发展水平、动态轨迹及其收敛性[J].数量经济技术经济研究,2019(2):3-23.
- [14]修春亮,魏冶,王绮.基于“规模-密度-形态”的大连市城市韧性评估[J].地理学报,2018(12):2315-2328.
- [15]房玮.公园城市:美丽中国的未来城市形态[N].学习时报,2020-04-22.
- [16]李健飞,李林,郭涿,等.基于最小累积阻力模型的珠海市生态适宜性评价[J].应用生态学报,2016(1):225-232.
- [17]Knaapen J P,Scheffer M,Harms B.Estimating habitat isolation in landscape planning[J].Landscape&Urban Planning,1992,23(1):1-16.
- [18]李恒凯,刘玉婷,李芹,等.基于MCR模型的南方稀土矿区生态安全格局分析[J].地理科学,2020(6):989-998.
- [19]易丹,赵小敏,郭熙,等.基于MCR的建设用地扩展边界划定研究[J].长江流域资源与环境,2019(8):1765-1779.
- [20]李航鹤,马腾辉,王坤,等.基于最小累积阻力模型(MCR)和空间主成分分析法(SPCA)的沛县北部生态安全格局构建研究[J].生态与农村环境学报,2020(8):1036-1045.
- [21]黄雪飞,吴次芳,游和远,等.基于MCR模型的水网平原区乡村景观生态廊道构建[J].农业工程学报,2019(10):243-251.
- [22]李晶,蒙吉军,毛熙彦.基于最小累积阻力模型的农牧交错带土地利用生态安全格局构建——以鄂尔多斯市准格尔旗为例[J].北京大学学报(自然科学版),2013(4):707-715.

注释:

1 参见 http://cdwglj.chengdu.gov.cn/cdwglj/c133185/2020-05/29/content_8ad1df4f2a304593a6ae6470959e1e76.shtml。

2 成都新津县已于2020年6月改为新津区,本文中仍沿用为新津县。