

基于最小累积阻力差值模型的 北京市生态安全格局构建

汉瑞英, 赵志平, 肖能文, 史娜娜, 孙 光, 高晓奇

(中国环境科学研究院 国家环境保护区域生态过程与功能评估重点实验室, 北京 100012)

摘 要: [目的] 构建适合北京市区域环境特点和社会发展水平相对完整的城市生态安全体系, 为有效控制城市扩张发展生态安全底线和城市生物多样性保护提供科学参考。[方法] 基于北京市生态系统水源涵养、水土保持、防风固沙和生物多样性维持服务功能及各类自然保护地提取生态源地; 综合考虑全域多要素指标, 运用生态源地扩张阻力面和城镇用地扩张阻力面差值划分生态安全格局(即高水平生态区、中水平生态区、低水平生态区、生态城镇临界区、低水平城建区、中水平城建区和高水平城建区)。同时识别生态廊道和生态节点区域, 从而构建北京市生态安全格局。[结果] 北京市生态源地总面积为 3 568.95 km², 占全区土地总面积的 21.7%, 集中分布在北京市西北区域, 呈包围中心城区态势; 北京市重要生态廊道 11 条, 生态节点 153 个, 其中石景山区生态网络密度最大, 东城区生态网络密度最小, 北京市中心建城区呈“摊大饼”式蔓延, 城区的生态廊道断裂程度较高。[结论] 北京市生态格局破碎化明显, 未来应优化生态节点空间布局, 以保护生态源地, 规划生态廊道, 控制生态城镇临界区建设等方式获得生态效益。

关键词: 生态源地; 水土保持; 生态系统服务评价; 生态安全格局; 最小累积阻力差值模型; 北京市

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2022)03-0095-08

中图分类号: X321

文献参数: 汉瑞英, 赵志平, 肖能文, 等. 基于最小累积阻力差值模型的北京市生态安全格局构建[J]. 水土保持通报, 2022, 42(3): 95-102. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.20220518.001; Han Ruiying, Zhao Zhiping, Xiao Nengwen, et al. Construction of ecological security pattern in Beijing City based on minimum resistance model [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(3): 95-102.

Construction of Ecological Security Pattern in Beijing City Based on Minimum Resistance Model

Han Ruiying, Zhao Zhiping, Xiao Nengwen, Shi Nana, Sun Guang, Gao Xiaoqi

(State Environmental Protection Key Laboratory of Regional Ecological Processes and

Functions Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: [Objective] An urban ecological security system with relatively complete regional environmental characteristics and social development level for Beijing City was constructed in order to provide a scientific reference for effectively controlling the ecological security bottom line for urban expansion and development, and thereby protect urban biodiversity. [Methods] The ecological sources for Beijing City were extracted based on water conservation, biodiversity maintenance, wind and sand fixation, soil and water conservation, and various nature reserves in the city. A multi-factor index that considered the whole domain by using a minimum cumulative resistance (MCR) difference model (namely the ecological source expansion resistance and surface resistance difference) was used to divide the national urban sprawl spatial pattern of ecological land, such as high level ecological area, medium level ecological area, low level ecological area, ecological town critical area, low level urban construction area, medium level urban construction area, and high level urban construction area. The ecological corridor and ecological node area were identified in order to construct

收稿日期: 2021-12-23

修回日期: 2022-01-13

资助项目: 生态环境部工作项目“生物多样性调查评估”(2019HJ2096001006); 国家重点研发计划项目“高寒草地综合利用关键技术及适应性管理研究与示范”(2016YFC0501904)

第一作者: 汉瑞英(1989—), 女(汉族), 甘肃省兰州市榆中县人, 硕士, 助理研究员, 主要从事气候变化和生物多样性研究。Email: 18358107886@163.com。

通信作者: 赵志平(1984—), 男(汉族), 江西省南昌市人, 博士, 副研究员, 主要从事气候变化和生物多样性研究。Email: zhaozp@craes.org.cn。

a land security pattern for Beijing City. [Results] The total area of ecological sources in Beijing City was 3 568.95 km², accounting for 21.7% of the total land area of the entire region, which was concentrated in the northwest part of Beijing City and surrounded the central and western urban areas. There were 11 important ecological corridors and 153 ecological nodes, of which Shijingshan District had the largest ecological network density and Dongcheng District had the smallest ecological network density. The construction area in the center of Beijing City was spreading in the pattern of a “spreading big cake”, and the degree of rupture of ecological corridors in the city was high. [Conclusion] The ecological pattern of Beijing City is obviously fragmented. In the future, the spatial layout of ecological nodes should be optimized to obtain ecological benefits by protecting ecological sources, planning ecological corridors, and controlling the construction of critical areas of ecological towns.

Keywords: ecological sources; soil and water conservation; ecosystem service evaluation; ecological security pattern; minimum cumulative resistance model difference; Beijing City

快速城市化深刻影响城市生态系统的功能、结构及其空间演化过程^[1-2],尤其是大城市城区生态斑块连通性差、城郊过渡区的生态斑块破碎等问题突出。良好的生态安全格局既可以兼顾生物多样性保护又可以促进经济可持续发展,因此科学构建生态安全格局对于城市生态系统的健康和发展意义重大^[3]。

国内外针对生态安全格局的研究较为丰富,基本形成“识别源地—构建阻力面—廊道构建—安全格局构建”的主流方法^[4-5],即“斑块—廊道—基质”的构建模式。生态源地是生物多样性较好且生境质量较高的生态用地,以往研究中源地识别直接选取自然保护区^[6],识别地筛选标准相对单一,可采用生态系统服务功能叠加分析来识别^[7-8],最小累积阻力模型(minimal cumulative resistance, MCR)能较好模拟生态流迁移扩散,广泛应用于阻力面构建和生态廊道模拟,以往生态阻力面构建直接采用土地覆被赋值方法^[5,9],近年来已有研究引入同类地块的空间异质性,基于土地覆被将不同的空间数据引入来修正生态阻力因子^[10-12]。北京市地处快速城镇化与工业化背景下,属超大规模城市,人口密度大^[13],长期面临经济发展与资源环境难以协调的压力,城市发展空间回旋余地小、水资源和土地资源供需矛盾突出,区域生态格局趋向孤岛化。作为中国向世界展示绿色发展的一个窗口,北京的城市生态安全需要考虑可持续发展所面临的生态环境压力和建设发展的双重问题,因此如何有效协调城市发展和生态保护之间的矛盾,增强生态环境承载力,保护生物多样性,实现人与自然和谐共处,已成为当前北京市面临的重要挑战。本文叠加水源涵养、水土保持、防风固沙和生物多样性维持等服务功能,结合各类自然保护区范围提取生态源地,然后综合考虑北京市土地覆被、生态、交通可达性和社会经济因子,利用最小累积阻力模型生成北京市生态源地扩张阻力值和城镇用地扩展阻力差值,划分

生态区、城镇建设区和生态城镇临界区,构建适合北京城市区域环境特点和社会发展水平相对完整的城市生态安全体系,以期为有效控制城市扩张发展生态安全底线^[14]和城市生物多样性保护提供科学参考。

1 研究区概况

北京市地处华北平原北端,地理坐标为 39°26′—41°03′N, 115°25′—117°30′E,总面积 16 140.54 km²,西北部山地、东南部平原,平均海拔 368 m。北京市属暖温带半湿润大陆性季风气候,年平均降水量 548.86 mm,全年无霜期 180~200 d,年平均气温为 12.77 ℃,境内有大清河、永定河、北运河、潮白河和蓟运河五大水系,共 100 多条支流。全市主要包括森林、灌丛、草地、湿地、农田等 5 类生态系统,占全市总面积的 81%。区域地带性植被为落叶阔叶林和温带针叶林。

2 研究数据与方法

2.1 研究数据

2019 土地利用数据来源于国家遥感中心(www.nrsc.gov.cn),空间分辨率为 30 m;NDVI 数据来源于 NASA 官网(<http://landsweb.modaps.eosdis.nasa.gov>);交通路网数据来自北京大学城市与环境学院地理数据平台(<http://geo.data.pku.edu.cn>);气象数据来源于中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn/satellite>);DEM 数据来源于地理数据空间云平台 GDEM V2 数据集,空间分辨率为 30 m;土壤数据来源于中国西部环境与生态科学数据中心网站(<http://westdc.westgis.ac.cn>),分辨率为 1 km;DMSPOLS 夜间灯光影响数据来源于网站(National Geophysical Data Center, NGDC),研究应用非辐射定标的夜间灯光影响数据集 DMSP/OLSZ 作为社会影响因子之一建立生态源地扩展阻力面。其中风因

子和土壤湿度因子来源于网站(<http://cdc.cma.gov.cn>)区域内的 27 个国家台站的日均风速、日照时数、温度、降水等数据来计算完成。

2.2 研究方法

2.2.1 生态源地提取 研究评价了北京市水源涵养、水土保持、防风固沙、生物多样性 4 个生态系统服务功能,评价方法参考《生态保护红线划定技术指南(2017)》,基于 GIS 栅格分类功能,采用自然断点法将评价结果分为 4 级:一般重要区域、中等重要区域、较重要区域、极重要区域^[15]。对北京市 4 类生态系统服务做标准化处理,加权后得到该区域生态系统服务重要性栅格图,采用熵权法对 4 类生态系统服务赋

权重,提取生态系统服务重要性为第 4 级的区域,剔除破碎小斑块(面积<20 km²),并矢量化提取的斑块,得到北京市生态系统服务功能极重要区域空间分布;再选取北京市现有自然保护地(自然保护区、湿地、森林公园等),基于 GIS 工具箱合并功能(uion),叠加生态功能极重要区域,最终生成北京市生态源地。

(1) 自然保护区选取。北京市共有 5 类 79 处自然保护区,研究选取北京市 3 类 63 处自然保护区和 7 处城市公园(表 1)。选取的保护区面积总共 3 948.75 km²,其中城市公园面积最小,为 17.713 km²,自然保护区面积最大,为 1 402.23 km²,森林公园 595.31 km²,湿地、湖泊面积 184.21 km²(图 1)。

表 1 北京市自然保护区

项 目	自然保护区名称	级 别
自然保护区 21 处	松山国家级自然保护区、百花山国家级自然保护区、拒马河市级水生野生动物自然保护区、喇叭沟门市级自然保护区、野鸭湖市级湿地自然保护区、云蒙山市级自然保护区、玉渡山区级自然保护区、莲花山区级自然保护区、大滩区级自然保护区等	国家级、市级、区级
森林公园 15 个	西山国家森林公园、上方山国家森林公园、云蒙山国家森林公园、八达岭国家森林公园、北宫国家森林公园、鹫峰国家森林公园、大兴古桑国家森林公园、大杨山国家森林公园等	国家级
城市公园 7 个	北海公园、奥林匹克森林公园、中山公园、麋鹿苑、天坛公园、翠湖国家湿地公园、大运河森林公园	
湿地公园、湖泊 10 个	北京野鸭湖国家湿地公园、北京长沟国家湿地公园、北京市马坊小龙河湿地公园、北京市琉璃庙湿地公园、北海湿地公园、金海湖、雁栖湖等	国家级、市级

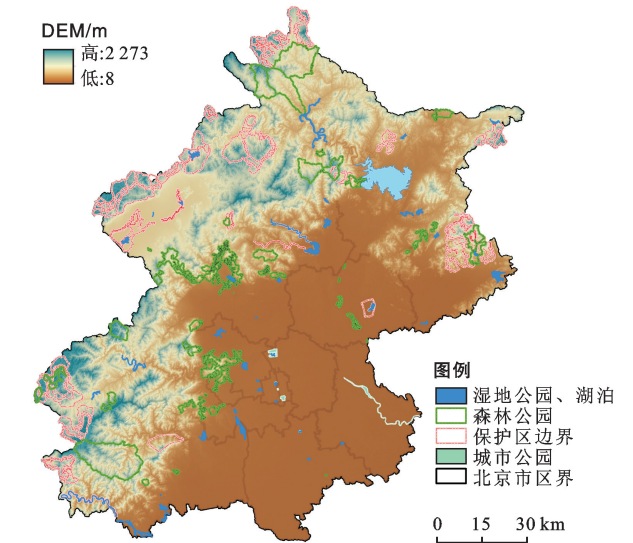


图 1 北京市生态源地分布

(2) 生态系统服务评价。基于生态环境部《生态保护红线划定技术指南(2017)》生态红线划定方法,选取生态服务功能(水源涵养、防风固沙功能、水土保持同能和生物多样性维持与保护功能)4 个指标^[16]。

①水源涵养。采用水量平衡方程计算水源涵养量:

$$TQ=\sum_{i=1}^i(P_i-R_i-ET_i)\times A_i\times 10^3 \tag{1}$$

式中:TQ 为总水源涵养量(m³);P 为降水量(mm);R 为地表径流量(mm);ET 为蒸散发(mm);A 为类生态系统面积(km²);i 为研究区第 i 类生态系统类型;j 为研究区生态系统型数。

②水土保持。采用修正通用水土流失方程(RUSLE)的水土保持服务模型开展评价:

$$A_c=A_p-A_r=R\times K\times L\times S\times (1-C) \tag{2}$$

式中:A_c 为水土保持量(t/hm²·a);A_p 为潜在土壤侵蚀量;A_r 为实际土壤侵蚀量;R 为降雨侵蚀力因子[MJ·mm/(hm²·h·a)];K 为土壤可蚀性因子[t·hm²·h/(hm²·MJ·mm)];LS 为地形因子;L 表示坡长因子;S 表示坡度因子;C 为植被覆盖因子。

③生物多样性。生物多样性维护服务能力指数作为评估指标,计算公式为:

$$S_{bio}=NPP_{mean}\times F_{pre}\times F_{tem}\times (1-F_{alt}) \tag{3}$$

式中:S_{bio} 为生物多样性维护服务能力指数;NPP_{mean} 为多年植被净初级生产力平均值;F_{pre} 为多年平均降

水量； F_{tem} 为多年平均气温； F_{alt} 为海拔因子。

④防风固沙。修正风蚀方程(RWEQ)是美国农业部应用于预测农田土壤风蚀量的模型^[17],采用RWEQ方程充分考虑气候条件、植被状况、地表土壤粗糙度、土壤可蚀性、土壤结皮的情况,计算公式为:

$$Q_{\text{max}}=109.8(W \cdot E \cdot S \cdot K' \cdot C) \tag{4}$$

$$s=150.71(W \cdot E \cdot S \cdot K' \cdot C)^{-0.3711} \tag{5}$$

$$S_L=\frac{2X}{S^2}Q_{\text{max}}e^{-\left(\frac{X}{S}\right)^2} \tag{6}$$

式中: Q_{max} 表示最大沙尘土通量; W 表示气象因子; E 表示土壤可侵蚀因子; S 表示土壤结皮因子; K 表示土壤糙度因子; C 表示植被因子; s 为关键地块长度; S_L 为土壤损失量; X 表示距上风向距离,取 $X=50\text{ m}$ 。通过上述公式计算得到北京市生态服务重要性空间分布如图 2 所示。

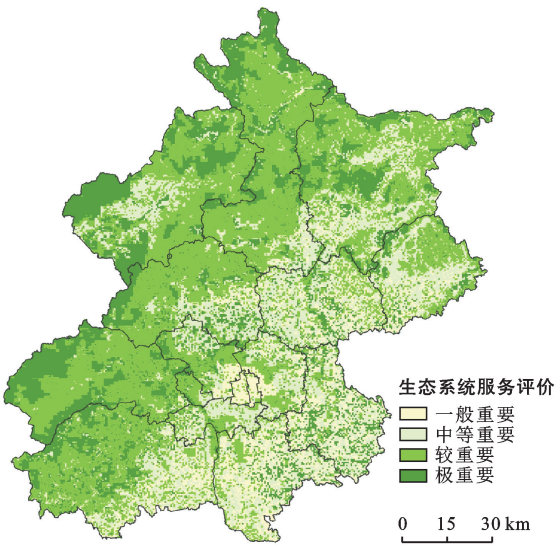


图 2 北京市生态服务重要性空间分布

2.2.2 阻力面构建 研究参考俞孔坚^[18]构建区域生态安全格局思路,分别建立北京市生态源地扩张阻力(表 2)、城镇用地扩张阻力因子^[8](表 3),采用熵值法并结合李红波等^[19]研究方法对各评价因子赋值,相对阻力值拟定在 0~100 之间,并基于层析分析法(AHP)确定评价指标权重,结合北京市生态现状和城市建设扩展水平,依据不同目标选择与生态源地、城镇用地扩张过程相关程度高的影响因子,通过GIS10.2 栅格计算器对评价因子采用加权求和构建阻力面模型,利用空间分析技术求取生态源地扩展阻力面和城镇用地扩张阻力面(图 3)。

采用最小累积阻力(MCR)模型来建立阻力面^[20];

$$MCR=f_{\min}\sum_{j=n}^{i=m}(D_{ij}\times R_i) \tag{7}$$

式中: MCR 为最小累积阻力值; f 为 MCR 与变量 $(D_{ij}\times R_i)$ 之间的正函数; D_{ij} 为从源 j 扩散至空间某点穿过生态表面 i 的空间距离; R_i 为生态表面 i 对源扩散方向的阻力。

$$MCR_{\text{差值}}=MCR_{\text{生态源地}}-MCR_{\text{城镇用地}} \tag{8}$$

当 $MCR_{\text{差值}}<0$ 时,表示区域生态源地扩张阻力小,适合扩张生态用地, $MCR_{\text{差值}}>0$ 时,表示区域生态源地扩张阻力大,适合城镇用地扩张; $MCR_{\text{差值}}=0$ 的区域为生态源地扩张与城镇用地扩张的临界区域,即生态城镇分界区(图 4)。西北部区域生态源地扩张阻力小,该区域适合生态源地扩张,东城区、西城区、朝阳区、丰台区和海淀区域生态源地扩张阻力较大,城镇建设、交通用地密度大。生态源地扩张阻力最大值的区域位于通州、大兴部分区域、这些区域适合城市建设。

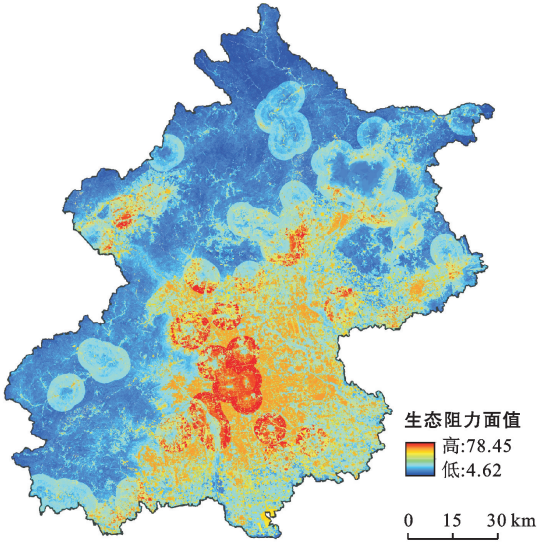


图 3 北京市生态阻力面分布

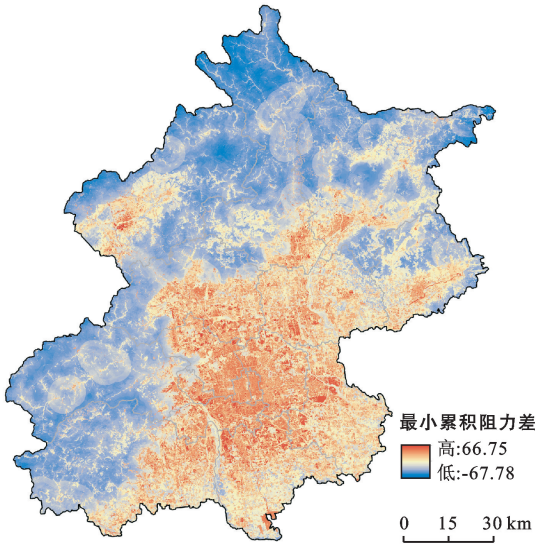


图 4 北京市最小累积阻力差值

表 2 北京市生态源地扩张阻力因子权重分级			
评价指标 1		分类	阻力赋值 权重
自然 环境 因子	土地利用	农 田	25
		其他林地	40
		有林地	1
		灌木林	5
		草 地	10
		建 筑	100
		水 渠	85
		交通路面	95
		工地堆场	100
		裸土地	90
	距水体距离/km	湿 地	5
		其他用地	70
		<1	10
		1~3	25
		3~5	40
		5~8	55
		>8	70
	NDVI	<0.15	80
		0.15~0.35	60
		0.15~0.55	40
		0.15~0.8	20
		>0.8 km	10
交通 可 达 性	坡度/%	<15	10
		15~30	30
		30~50	50
		50~70	70
		>70	90
	距高速公里距离/km	<1	90
		1~2	70
		2~4	50
		4~7	30
		7~9	10
	距主干道距离/km	>9	0
		<0.7	90
		0.7~2.2	70
		2.2~3.7	50
		3.7~5.2	30
	距次干道距离/km	5.2~7	10
		>7	0
		<0.5	90
		0.5~2	70
		2~3.5	50
社会 经 济 因 子		3.5~5	30
		5~6.5	10
		>6.5	0
		<0.35	90
		0.35~1.7	70
	距其他道路距离/km	1.7~3.2	50
		3.2~4.8	30
		4.8~6	10
		>6	0
		<7.4	80
	人口密度/(10 ⁴ 人•km ⁻²)	5~7.4	65
		3~5	45
		1~3	25
		0.5~1	10
		>0.5	5
	夜间灯光因子	<10	10
		10~20	30
		20~40	50
		40~50	70
		>50	90

表 3 北京市城镇用地扩展阻力因子权重分级			
评价指标 1		分类	阻力赋值 权重
自然 环 境 因 子	土地利用因子	农 田	75
		其他林地	50
		有林地	99
		灌木林	95
		草 地	35
		建筑用地	95
		水 渠	95
		交通路面	100
		工地堆场	80
		裸土地	5
	坡度/%	湿 地	95
		人工用地	0
		<15	10
		15~30	30
		30~50	50
交通 可 达 性	距公路、铁路距离/km	50~70	70
		70	90
		<0.5	10
		0.5~1	30
		1~2	50
	距居民区距离/km	2~5	70
		>5	90
		<0.3	10
		0.3~0.5	30
		0.5~1.0	50
	距工地、堆场距离/km	1~2	70
		>2	90
		<1	90
		1~2	70
		2~5	50

2.2.3 生态廊道构建 生态廊道是连接生态源地的线状景观,为生物迁移扩散运动提供路径^[21]。当生态阻力差值较小时,有利于生态流扩张,研究利用模型计算各生物在阻力面上迁移所需要克服的最小累积阻力值,并识别最小成本路径,构建潜在生态廊道,选取 MCR_{差值}面上相邻两个源地之间的阻力低谷,即累积阻力差值较大(负值)的路径构建区域生态廊道,并剔除冗余性较高的重复、交叉路径,保留相邻生态源地之间的最短路径。

生态节点可以给进行迁徙的物种提供休憩地,生态作用关键^[22],提取生态廊道的交点、生态廊道和最小阻力路径的交点作为生态节点。交通道路会增大物种在生态源地间迁移的阻力^[23],阻碍物种在生态源地间的迁移和交流。生态廊道与交通线路交汇区域形成生态断裂点,会阻碍生物信息传播和交流。研

究选取高速公路、主干道、次干道路和其他道路与生态廊道的图层叠加,识别生态断裂点。

3 结果与分析

3.1 生态源地划定

如图 5 所示,北京市生态源地总面积为 3 568.95 km²,总共 118 块,占全区总面积的 21.7%,其中北京市西北区域分布较多,中心城区中零星分布的小块生态源地主要是水域、公园和城市绿地,中心城区大量土地用来城市建设,导致生境斑块破碎化,生态源地的缺失严重影响了一些分布范围较广物种的繁殖。

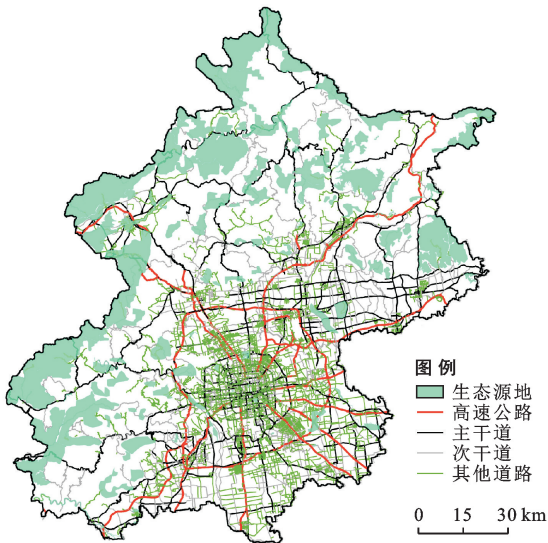


图 5 北京市生态源地分布

3.2 生态安全格局构建

当生态阻力差值较小时,有利于生态流扩张,研究基于生态源地扩张阻力模型提取生态路径,并选择累积阻力差值较大(负值)和相邻生态源地之间的最短路径作为生态廊道,并采用最小累积阻力差值,利用分位数法将生态源地扩张成本划分为高水平生态区、中水平生态区、低水平生态区、生态城镇临界区、低水平城建区、中水平城建区、高水平城建区,从而构建北京市生态安全网络(图 6)。

“高水平生态区”主要分布在北京市西北部,属于生态系统功能高值区,大部分生态源地分布在“高水平生态区”和“中水平生态区”的合围区域。“低水平生态区”集中分布在高、中水平生态区域的延伸缓冲带,大兴区和房山区南部连片分布有“低水平生态区”。“生态城镇临界区”属于生态区域和城镇区域的缓冲带,集中分布在“低水平生态区”和“低水平城建区”之间,这些区域既是生态流缓慢扩散流动的区域,

也是城市发展扩张的潜在区,应合理规划该区域的生态廊道布置,避免人工建筑阻碍生物物种交流、迁徙。“中、高水平城建区”集中分布在北京市中心城区,属于城市建设高度发达区域,这些区域中零星镶嵌着“低水平生态区”斑块,这些生态源地斑块主要是城市公园、城市绿地和湿地。

生态廊道把相互独立的生态源地在空间上连接起来,是保持生态流、生态功能连通的关键生态组分构成^[24]。本研究计算得到 188 条生态廊道,形成了北京市生态网络空间分布(图 6),西北部生态涵养区生态廊道数量较多,中心城区生态廊道数量较少。考虑生态廊道连续性和可落地实施要求,筛选同时服务多个生态源地与节点的生态廊道作为重要生态廊道(11 条),其他生态廊道作为一般生态廊道。生态节点是生物迁徙和交流的关键生态战略点^[25],提取生态廊道交汇点,即关键生态节点建立“踏脚石”斑块,生态节点共有 153 个(图 6),主要分布在研究区西北部,这些生态节点可以加强区域生态安全与保护。比较北京市 16 个区廊道网络密度(图 7);石景山区生态网络密度最大,其次是昌平区、怀柔区和密云区,东城区生态网络密度最小。

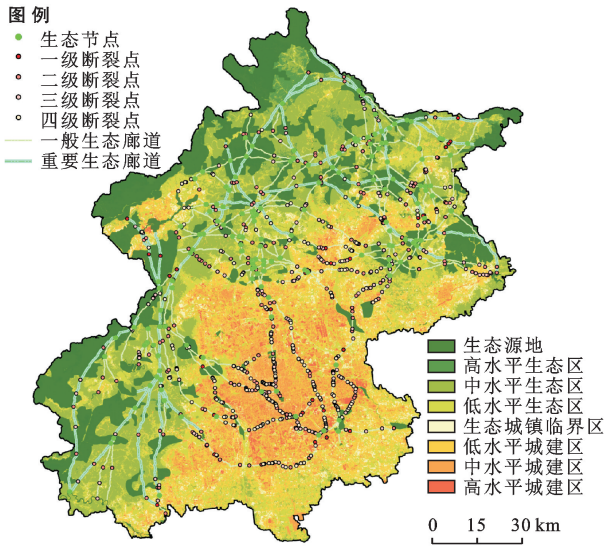


图 6 北京市生态安全格局

北京城市交通发达,路网密度较大,将生态廊道与研究区路网叠加,提取生态断裂点 720 个。其中,一级断裂点为生态廊道与高速公路的交汇点,共计 55 个;二级断裂点为生态廊道与主干道的交汇点,共计 224 个;三级断裂点为生态廊道与次干道的交汇点,共计 198 个;四级断裂点为生态廊道与其他道路的交汇点,共计 243 个;生态断裂点集中分布中心城区(东西城区、朝阳区、海淀区、丰台区),这些区域路

网聚集,人口数密集,生态廊道断裂程度较高,其次生态断裂点较多的区域分布在昌平区、顺义和大兴区,这些区域的生态廊道也不利于生物物种迁徙扩散。针对断裂程度较高的生态廊道,不建议规划生态廊道,针对现有的珍稀濒危物种可采取就地、迁地保护措施。

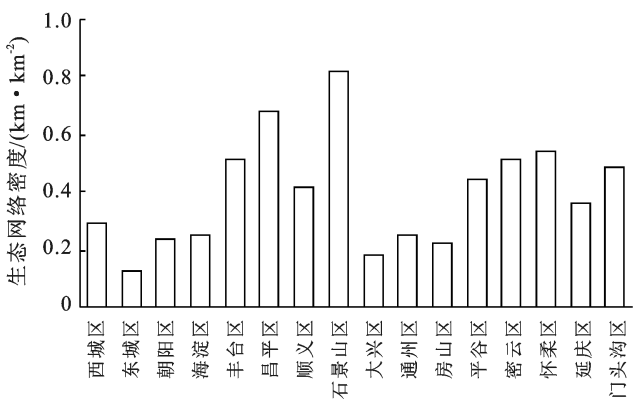


图 7 北京市各区生态网络密度

4 讨论与结论

4.1 结论

本文综合考虑城市生态安全格局空间完整性和生态系统服务功能,选取北京市 63 处自然保护地和 7 处城市公园,叠加 4 类综合生态系统服务等级最高的区域,共提取 118 块生态源地和 11 条重要生态廊道,利用最小阻力模型差值模型(MCR_{差值})将北京市划分为 7 大区域(高水平生态区、中水平生态区、低水平生态区、生态城镇临界区、低水平城镇区、中水平城镇区、高水平城镇区),构建北京市生态安全格局。

(1) 生态源地集中分布在北京市西北部生态涵养区,呈包围中西城区态势,在空间上连片集中,位于“城建区”的小斑块生态源地主要是城市公园、城市绿地和水域,“城建区”生态源地破碎化程度较高,呈离散性分布。

(2) “高水平生态区”与生态源地分布区域基本叠合,总面积占研究区 12.01%,属于生态核心区域;“中水平生态区”面积占研究区 31.3%,主要分布在生态核心区外围,属于生态缓冲区域;“低水平生态区”面积占研究区 25.63%,主要分布在“中水平生态区”外围,属于生态过渡区域;“生态城镇临界区”面积占研究区 5%,分布较零碎,该区域对生态流扩散形成阻隔,因此该区域是生态化改造的关键区域。

(3) 根据生态廊道分析,由于城区密集路网和高密度人类活动影响,城区的生态廊道断裂程度较高,生态保护安全性较低,生态源地破碎程度较高,很难

建立完整连通的生态廊道。西北生态涵养区域的“中、低水平建城区”呈蔓延发展趋势,占用生态绿地较多,中心城区呈组团连片发展趋势。

(4) 未来应优化生态节点空间布局,对生态环境良好且具有一定生态功能的“踏脚石”进行筛选和保护,并采用科学合理的空间格局设计,即以保护生态源地、规划生态廊道,控制生态城镇临界区建设等方式获得生态效益。

4.2 讨论

构建城市生态安全格局对于缓解城市建设和生态保护的矛盾具有积极意义,尤其是生态空间受到严重挤压的超大人口城市。本文选取北京市为研究区域,将生态资源保护与城市合理发展相协调,充分考虑人类活动和生态系统之间各组分的关联性,建立了“生态评价—生态网络构建—生态安全格局”的生态安全格局方法。国内外相关生态安全格局研究中,主要关注生态源地、缓冲区、生态廊道和生态节点的组成^[26]。超大城市的结构和功能较为复杂,城镇建设用地已经趋向饱和,生态城镇相交互的临界区应是城市生态安全关注的重点,以往的生态安全格局相关研究很少关注生态区和城镇区的过渡区域^[27-28],本研究采用最小累积阻力模型(MCR)生成生态源地扩张阻力面与城镇用地扩张阻力面的差值面,并利用分位数法将生态源地差值成本面划分成 7 个区域:高水平生态区、中水平生态区、低水平生态区、生态城镇临界区、低水平城建区、中水平城建区、高水平城建区,其中生态城镇临界区分布较为零散且广泛(图 6),是北京市生态安全格局构建需要重点关注的区域。

北京市生态格局破碎化现象明显。北京市中心城区由于建设用地较多,对生态资源造成割裂,导致生态廊道破碎化严重,集中连片的生态资源极少,生态源地破碎化程度较高,生态系统服务功能较低;西北部分地区自然条件良好,生态源地和生态节点集中分布在西北部生态涵养区,但生态涵养区生态廊道受道路基础设施阻隔,造成生态断裂点,这对于物种迁徙安全形成威胁,在建设基础设施时需要充分考虑生态廊道的保护需求,采取相关工程措施尽可能降低道路设施对生态网络的影响^[28];部分生态廊道冗余性较高,重要生态廊道有待进一步拓宽,以保障生态要素连通交流^[29]。

近 10 a 来,北京市人口压力剧增,生态安全面临严重威胁,对比 2008 年俞孔坚^[30]对北京市生态安全格局城市增长预测,北京城市建设进一步扩张,建城区呈“摊大饼”式蔓延,中心城区绿地面积减少,中心城区与周边区域组团连片发展,城区生态空间破碎化

程度较高,现亟需控制“低水平生态区”和“生态城镇临界区”城建水平,防止西北部屏障进一步割裂。研究基于生态安全格局构建范式,从维护生态系统完整性视角出发,识别生态源地、构建生态网络、分级国土空间制定生态保护措施,尤其针对城市发展空间有限的超大人口城市,划分“生态城镇临界区”,这对于阻碍城镇化无序扩张,缓解资源环境压力有重要现实意义。研究可为科学规划国土空间安全格局、实现资源优化配置提供参考,下一步研究中,应确定单一因子的城市生态安全格局构建以及边界的确定方法。

[参 考 文 献]

- [1] Kalnay E, Cai Ming. Impact of urbanization and land-use change on climate [J]. *Nature*, 2003, 423 (6939): 528-531.
- [2] Liang Wei, Yang Ming. Urbanization, economic growth and environmental pollution: Evidence from China [J]. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 2019, 21:1-9.
- [3] 扈万泰,王力国,舒沐晖.城乡规划编制中的“三生空间”划定思考[J].*城市规划*, 2016, 40(5): 21-26.
- [4] 彭建,李慧蕾,刘焱序,等.雄安新区生态安全格局识别与优化策略[J].*地理学报*, 2018, 73(4): 701-710.
- [5] 付凤杰,刘珍环,刘海.基于生态安全格局的国土空间生态修复关键区域识别:以贺州市为例[J].*生态学报*, 2021, 41(9): 3406-3414.
- [6] 杨姗姗,邹长新,沈渭寿,等.基于生态红线划分的生态安全格局构建:以江西省为例[J].*生态学杂志*, 2016, 35(01): 250-258.
- [7] 李晟,李涛,彭重华,等.基于综合评价法的洞庭湖区绿地生态网络构建[J].*应用生态学报*, 2020, 31(8): 2687-2698.
- [8] 于成龙,刘丹,冯锐,等.基于最小累积阻力模型的东北地区生态安全格局构建[J].*生态学报*, 2021, 41(1): 290-301.
- [9] 李国煜,林丽群,伍世代,等.生态源地识别与生态安全格局构建研究:以福建省福清市为例[J].*地域研究与开发*, 2018, 37(3): 120-125.
- [10] 彭建,赵会娟,刘焱序,等.区域生态安全格局构建研究进展与展望[J].*地理研究*, 2017, 36(3): 407-419.
- [11] 刘晓阳,魏铭,曾坚,等.闽三角城市群生态网络分析与构建[J].*资源科学*, 2021, 43(2): 357-367.
- [12] 于梦林,刘平辉,朱传民.基于MCR模型的宁波市生态安全网络构建[J].*水土保持通报*, 2022, 42(1): 208-215.
- [13] 付梦娣,肖能文,赵志平,等.北京城市化进程对生态系统服务的影响[J].*水土保持研究*, 2016, 23(5): 235-239.
- [14] 陈利顶,孙然好,孙涛,等.城市群生态安全格局构建:概念辨析与理论思考[J].*生态学报*, 2021, 41(11): 4251-4258.
- [15] 高爽,董雅文,张磊,等.基于资源环境承载力的国家级新区空间开发管控研究[J].*生态学报*, 2019, 39(24): 9304-9313.
- [16] 庞敏,殷崎栋,余向勇,等.安康市生态保护红线划定中科学评估过程研究[J].*科学技术创新*, 2021(24): 49-50.
- [17] Youssef F, Visser S, Karssenberg D, et al. Calibration of RWEQ in a patchy landscape; a first step towards a regional scale wind erosion model [J]. *Aeolian Research*, 2012, 3(4): 467-476.
- [18] 俞孔坚,李海龙,李迪华,等.国土尺度生态安全格局[J].*生态学报*, 2009, 29(10): 5163-5175.
- [19] 李红波,黄悦,高艳丽.武汉城市圈生态网络时空演变及管控分析[J].*生态学报*, 2021, 41(22): 9008-9019.
- [20] 汉瑞英,赵志平,肖能文.生物多样性保护优先区生态网络构建与优化:以太行山片区为例[J].*西北林学院学报*, 2021, 36(02): 61-67.
- [21] 沈钦炜,林美玲,莫惠萍,等.佛山市生态网络构建及优化[J].*应用生态学报*, 2021, 32(9): 3288-3298.
- [22] 陈小平,陈文波,鄱阳湖生态经济区生态网络构建与评价[J].*应用生态学报*, 2016, 27(5): 1611-1618.
- [23] 周圆,张青年.道路网络对物种迁移及景观连通性的影响[J].*生态学杂志*, 2014, 33(2): 440-446.
- [24] 李卫锋,王仰麟,彭建,等.深圳市景观格局演变及其驱动因素分析[J].*应用生态学报*, 2004, 15(8): 1403-1410.
- [25] 莫振淳,傅丽华,彭耀辉,等.基于综合重要度评价的生态空间网络关键节点识别[J].*湖南工业大学学报*, 2018, 32(2): 64-69.
- [26] Peng Jian, Pan Yajing, Liu Yanxu, et al. Linking ecological degradation risk to identify ecological security patterns in a rapidly urbanizing landscape [J]. *Habitat International*, 2018, 71: 110-124.
- [27] Harvey E, Gounand I, Ward C L, et al. Bridging ecology and conservation: From ecological networks to ecosystem function [J]. *Journal of Applied Ecology*, 2017, 54(2): 371-379.
- [28] 韩俊宇,余美瑛.全域全要素统筹背景下生态安全格局识别与优化建议:以衢州市常山县为例[J].*地理研究*, 2021, 40(4): 1078-1095.
- [29] 彭建,党威雄,刘焱序,等.景观生态风险评价研究进展与展望[J].*地理学报*, 2015, 70(4): 664-677.
- [30] 俞孔坚,王思思,李迪华,等.北京市生态安全格局及城市增长前景[J].*生态学报*, 2009, 29(3): 1189-1204.