

DOI: 10.5846/stxb201801310259

胡炳旭,汪东川,王志恒,汪翡翠,刘金雅,孙志超,陈俊合.京津冀城市群生态网络构建与优化.生态学报,2018,38(12): - .

Hu B X, Wang D C, Wang Z H, Wang F C, Liu J Y, Sun Z C, Chen J H. Development and optimization of the ecological network in the Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan region. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(12): - .

京津冀城市群生态网络构建与优化

胡炳旭¹, 汪东川^{1,2}, 王志恒^{1,*}, 汪翡翠¹, 刘金雅¹, 孙志超¹, 陈俊合¹

1 天津城建大学, 地质与测绘学院, 天津 300384

2 天津城建大学, 天津市土木建筑结构防护与加固重点实验室, 天津 300384

摘要:生态安全是人类生活的基本保障,快速城镇化致使大型生态源地破碎化、岛屿化,生态环境问题日益严重。构建生态网络不仅能加强生态源地间的连通性,完善生态功能,还能提高生态系统的综合能力,改善恶化的生态环境问题。以京津冀为研究区,基于地理空间分析技术确定京津冀生态源地,对研究区内的林地、湿地、草地,结合生态红线等进行区域叠加从而完成源地提取;基于最小成本路径方法,考虑土地利用及高程影响因子,提取京津冀城市群生态廊道,分析统计廊道分布情况;结合重力模型与重要生态源地连通性筛选出京津冀重要生态廊道,叠加现有国道、河流构建生态网络,对重要生态节点进行分析。研究结果表明,生态源地面积占研究区总面积比例为 21.76%,林地、湿地、草地面积占总生态源地面积分别为 82.78%, 11.05%, 6.17%;不同地貌区域生态源地类型不同,林地主要分布在山区,湿地主要分布在平原区域,草地主要分布在研究区西北部;景观成本值平原区域高于草原和山区,北京、天津、石家庄城区及周边景观成本值最高;采用最小成本路径模型提取廊道 579 条,其中张家口、承德区域生态网络较好,平原区域生态源地及生态节点缺失较为严重。最后,对北京、天津、白洋淀、衡水湖等重点生态区域提出修复和保护意见,为京津冀城市群发展提供参考。此外,本研究对其他地区生态网络的构建提供理论依据与技术支持。

关键词:生态廊道;景观格局;最小成本路径;生态网络;京津冀城市群

Development and optimization of the ecological network in the Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan region

HU Bingxu¹, WANG Dongchuan^{1,2}, WANG Zhiheng^{1,*}, WANG Feicui¹, LIU Jinya¹, SUN Zhichao¹, CHEN Junhe¹

1 School of Geology and Geomatics, Tianjin Chengjian University, Tianjin 300384, China

2 Tianjin Key Laboratory of Civil Structure Protection and Reinforcement, Tianjin Chengjian University, Tianjin 300384, China

Abstract: Ecological security is the basic safeguard of human life. Rapid urbanization can cause fragmentation of large habitats and islands, and the deteriorating ecological environment is an increasingly serious problem. The establishment of an ecological network can not only enhance the connectivity between habitat patches and improve ecological function, but can also increase the comprehensive ability of the ecosystem and ameliorate the deterioration of the ecological environment. In this paper, the Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan region was studied as the research zone. The ecological sources of the Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan region were determined based on the Geographical Information System (GIS), and extracted via an overlap area of the forest, wetland, and grassland areas of the research zone, and the ecological red line; based on the least-cost-path method, we considered land use and elevation factors to extract the ecological corridors of the Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan region to analyze and calculate the distribution of the ecological corridors. Integrating a

基金项目:国家重点研发计划课题(2016YFC0503001)

收稿日期:2018-01-31; 修订日期:2018-04-12

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wzh19831221@163.com

gravity model and connectivity among important ecological sources, the critical ecological corridors of the Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan region were selected, and then were overlaid with the current national roads and rivers to develop an ecological network and analyze the significant ecological nodes. The results indicated the ecological source area accounted for 21.76% of the total study area; the forest, wetland, and grassland was 82.78%, 11.05%, and 6.17% of the total study area, respectively. Different geomorphology regions have different ecological source types; the forest was mainly distributed in mountainous regions, and wetland was mainly distributed in the plains regions, and grassland was mainly distributed in the northwest research area. As for the landscape impedance, the plains regions were higher than grasslands and forests, and the highest landscape impedance was found in the urban areas of Beijing, Tianjin, and Shijiazhuang. Among the 579 corridors selected according to the least-cost-path method, Zhangjiakou and Chengde areas showed better ecological networks, and the plains regions exhibited a serious loss in ecological sources and nodes. Finally, restoration and protection suggestions for the key ecological zones, such as Beijing, Tianjin, Baiyang Lake, and Hengshui Lake, have been provided in the study to offer reference for the development of the Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan region. In addition, this study contributes to the theoretical and technical support needed to design ecological networks in other regions.

Key Words: ecological corridor; landscape pattern; least-cost-path; ecological network; Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan zone

生态系统是人类生存的载体,随着京津冀城镇化的快速发展,生态用地流失、水生态失衡^[1-2],大型生态用地破碎化、岛屿化现象日益严重,重要生态用地如绿地、水域、湿地等出现不同程度的破碎^[3-5],导致生态用地的数量、质量和连通性等不断降低,打破京津冀原有的正常生态系统的调节机制,迫使生态系统功能下降、生态风险加剧,严重威胁生态安全^[6-7]。因而,维持生态系统的平衡,保护生物多样性,及降低生态风险迫在眉睫。

目前,构建生态网络主要有两种方法:(1)通过观测动物、植物种子扩散范围等路径,结合模型构建网络^[8-12]。(2)基于地理空间分析技术(Geographical Information System, GIS),利用最小成本路径模型来构建生态网络^[13-17]。第一种方法虽可对迁移路径进行更直观的模拟,但需要详细的观测数据,且耗时长。而最小成本路径模型考虑到生态源地间连接过程中耗费成本值,得到源地间最小成本廊道,从而更好地反映出源地在耗费景观成本环境下的最优路径。近年来,景观规划和生态网络构建方面的研究取得了较大进展。俞孔坚^[18]基于景观连接度原理对北京市生态安全格局进行构建和预测;孔繁花等^[19]采用最小成本路径方法,模拟了济南市的潜在生态廊道;张远景^[20]采用 CA-Markov 模型对哈尔滨主城区生态网络格局进行模拟优化。然而上述研究多围绕建城区及周边区县小尺度区域,研究区域集中在东部沿海发达城市,而基于大尺度区域范围对城市群生态网络研究则相对较少,且主要集中在西北内陆^[21-22]。

本文以京津冀城市群为研究区,基于京津冀生态红线区域、自然保护区范围区域,综合叠加提取出具有重要生态意义的核心生态源地,运用 GIS 技术,基于最小成本路径提取研究区潜在廊道,通过重力模型及重要生态源地连通廊道,综合筛选得到研究区重要生态廊道。并对研究区内景观成本,廊道组成,及其重要生态源地等分布特征进行分析,并针对重要生态节点提出区域优化,旨在为增强生态系统的完整性和重要源地的连通性,强化建立完善的生态文明建设环境保护策略,以及建设京津冀城市群生态文明建设等相关研究提供参考依据。

1 研究区概况

京津冀城市群包括北京市、天津市以及河北省 11 个地级市(图 1)。土地面积 21.8 万 km²,约占全国面积的 2.3%。京津冀地区主体为温带大陆性气候,四季明显,冬季寒冷干燥,夏季高温多雨。全区地势呈现由西北向东南倾斜降低,西北部紧邻内蒙古,草原较多,生态环境良好;西部北部内含太行山、燕山山脉,林地资源

丰富,生态环境优良;东部地区紧邻渤海,南部为华北平原,地势平坦,土地利用类型多为耕地。随着城镇化工业化发展,生态源地破碎化、岛屿化严重,京津冀地区环境生态问题十分严峻,部分河湖干枯断流、水土流失、河水富营养化、土地污染、地面沉降、草场退化、沙尘暴和雾霾等生态环境问题。因此做好京津冀城市群协同发展,是改善区域资源分配不均、提升区域生态环境的重要举措之一。

2 研究方法

2.1 数据来源与处理

以研究区域 2015 年 Landsat8 OLI 遥感影像为基础数据,将京津冀土地利用类型划分为林地、草地、湿地、耕地、人工表面及其他类型用地,利用 ArcGIS 10.2 软件对遥感影像进行目视解译获得矢量数据,并进行栅格转换,最终得到 30 m×30 m 土地利用栅格数据。自中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云 (Geospatial Data cloud, <http://www.gscloud.cn/>) 下载

全球 GDEMDEM 30 m 分辨率数字高程数据,通过裁剪获取京津冀数字高程模型 (Digital Elevation Model, DEM) 数据,其栅格大小为 30 m×30 m (图 1)。筛选 2015 京津冀 1:100 万基础规划数据中河流、国道、湿地、湖泊等矢量范围,对国务院《全国主体功能区规划》^[23] 数据及京津冀《主体功能区规划》^[24-26] 数据中生态红线区域,环保部《全国自然保护区名录》^[27] 自然保护区分布及面积参数,《中国生物多样性保护战略》^[28] 中物种保护区范围,国家林业局《中国湿地保护行动计划》^[29] 中重要湿地分布区域等数据进行矢量化,得到矢量数据。

2.2 生态源地提取方法

景观生态学中,生态源地具有重要的生态系统功能或生态服务功能,是景观重要组成部分^[14]。生态源地面积的大小对区域物种多样性、物质信息传递、交流以及综合生态服务功能有着重要意义^[30]。本文基于研究区实际情况,对《主体功能区规划》、《全国自然保护区名录》、《中国生物多样性战略与行动计划(2011—2030 年)》、《中国湿地保护行动计划》等规划指南中重要生态区域的矢量范围,与土地利用数据中面积大于 10 km² 的林地、草地、湿地生态区域矢量范围进行矢量叠加分析,提取重叠度较高、综合生态服务功能好的区域作为生态源地。

2.3 基于最小成本路径模型的生态网络构建

构建生态网络可以解决生态源地破碎化问题,增强生态源地间的连接度^[31]。最小成本路径方法是指物种从源到目的地运动过程中所耗费的累计成本值。该模型算法具有数据结构简洁、要素拓展性强、运算快速及应用广泛等特点。通过计算源地间的最小累计成本来确定源地间连接路径,能较好的反应出景观中物质、能量的运动方向趋势。生态源地通过不同景观类型耗费成本的大小不同,首先对研究区景观赋予不同的成本值,运用“综合加权指数和法”创建研究区综合成本栅格数据,通过最小成本路径模型计算^[32-34] (式 1),得到生态源地间的最小成本路径。采用最小成本路径生成生态廊道有以下两个原则,第一,生态源地间生成廊道不会穿过其他生态源地;第二,所有生成廊道没有交叉。最小成本路径可以较好的反映出生态源地间的物质交流,通过构建景观综合成本值面计算源地间最小成本路径。

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

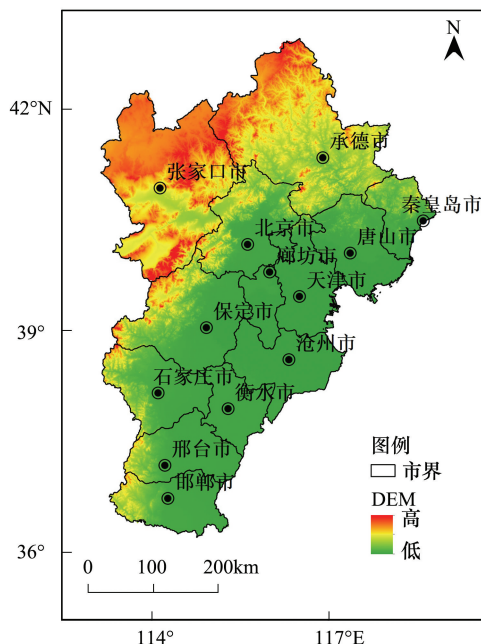


图 1 研究区行政区划图

Fig.1 Administrative divisions of the study area

式中, MCR 为最小累计成本值, $f_{\min}$ 为源地间最小累计成本值, D_{ij} 表示物种从源 j 到景观单元 i 的空间距离, R_i 表示景观单元 i 的成本值。($D_{ij} \times R_i$) 的值可以被作为衡量特定物种从 j 到空间某点的路径的相对容易达到性。

2.4 重要生态廊道筛选及生态节点识别

生态源地间相互作用强度可以反映出潜在生态廊道对生态源地连接的重要性。基于重力模型^[19](式 2) 定量地对生态源地间相互作用强度进行评价, 进而判断研究区相对重要的生态廊道, 保留大型生态源地间相互作用较强的生态廊道, 结合京津冀城市群重要生态源地的空间分布, 以生态红线区、重点保护区和城市群周边重要生态源地的有效连通为原则, 筛选得到京津冀城市群重要生态廊道, 并结合现有国道、河流进行叠加分析, 对区域生态网络提出优化建议。

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

式中, G_{ij} 是源地 i 与源地 j 之间的相互作用强度; N_i 与 N_j 分别为源地 i 与源地 j 的权重系数; D_{ij} 为源地 i 与源地 j 之间潜在廊道的标准化成本值大小; P_i 与 P_j 为源地 i 与 j 的整体成本值; S_i 与 S_j 为源地 i 与 j 的面积; L_{ij} 为源地 i 与源地 j 之间潜在廊道的累积成本值; $L_{\max}$ 为研究区内所有廊道的最大成本值。

生态节点是源地最小成本路径和最大耗费路径的交点^[35]。在景观空间链接中, 相邻源地间进行物质交流存在关键生态节点, 生态节点通常在过去受到认为干扰或即将受到人类活动影响后生态恶化的区域。在大尺度的廊道研究中, 生态薄弱并且生态作用关键的区域被当作生态节点^[36]。本文以京津冀城市群重要生态廊道上的小型生态源地及生态廊道与现有道路、河流交叉重叠较高区域作为生态节点。

3 结果与分析

3.1 生态源地提取结果

对京津冀规划纲要中生态红线区、自然保护区、水源涵养区及大型生态用地及土地利用数据中林草湿地的矢量范围, 进行区域矢量化叠加, 提取得到研究区重要生态源地 217 块(图 2a), 并对京津冀城市群土地利用(图 2b)生态源地景观组成进行统计分析(表 1)。

表 1 景观类型分类统计表

Table 1 Characteristics of the landscape types

土地利用类型 Land use types	总面积 Total area/km ²	源地面积 Source area/km ²	占总面积百分比 Percent in total area/%	占源地面积的百分比 Percent in source area/%
林地 Forest	70791.01	38935.33	55.00	82.78
草地 Grassland	19033.04	2901.61	15.25	6.17
湿地 Wetland	6107.33	5195.04	85.06	11.05
耕地 Farmland	93547.87	—	—	—
建设用地 Construction area	26051.8	—	—	—
其他 Other	657.63	—	—	—
合计 Total	216188.68	47031.98	21.76	100

由表 1、图 2a 可知京津冀城市群生态源地面积占研究区总面积约 21.76%, 林地占比最高, 占生态源地总比例的 82.78%, 主要分布在西部北部山区地带, 面积较大, 综合生态服务功能较好, 林地类型小型生态源地主要分布在保定西侧、秦皇岛、承德行政区域内; 湿地占比约为 11.05%, 主要分布在东部渤海湾及白洋淀衡水湖等大型水域以及各区域重要水库, 生态等级高, 综合生态服务功能较好, 需要重点进行保护; 草地占生态用地 6.17%, 草原生态结构较为脆弱, 区域生态破碎度较高, 小型生态源地较多, 尽量维持或适当增大生态源地面

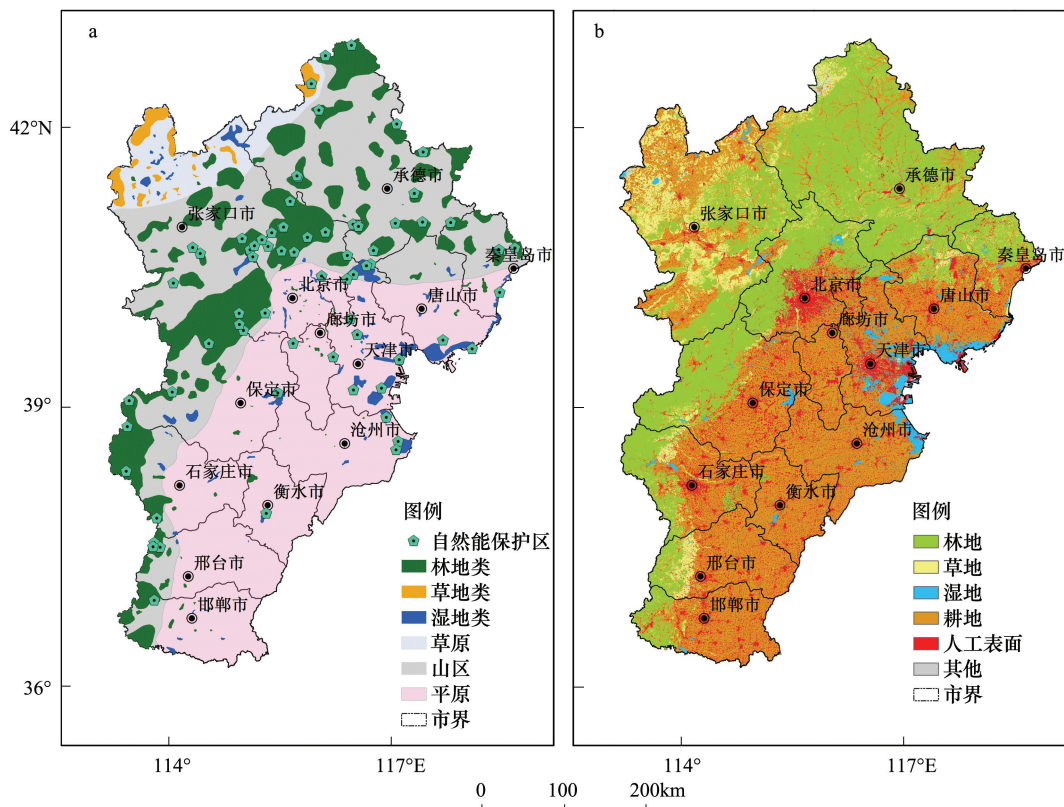


图 2 生态源地分布图 (a) 与土地利用现状图 (b)

Fig.2 Distribution of the ecological source (a) and present map of land use (b)

积,加大研究区生态环境的保护力度,避免生态源地破碎化加剧,提升区域综合生态服务功能。

由图 2b 土地利用图可见,研究区南部平原区域林地较少,耕地为主要土地利用类型,生态用地类型以湿地为主,城镇化严重,城市面积明显高于其他区域,生态综合生态服务功能相对较弱;山区土地利用以林地为主,生态综合生态服务功能相对较好;草原土地利用以林地、草地和耕地为主,生态综合生态服务功能良好;应适当更改平原区域土地利用类型,落实退耕还林等政策,并加强平原区域大型生态源地的建设和保护。

3.2 生态网络构建分析

景观成本值的确定是构建生态网络的关键,目前国内外对景观成本值没有统一的方法,源地间物质交流、传递通过不同景观类型所耗费的成本不同。本文参考徐文彬等^[37]、刘杰等^[38]、袁钟^[39]等学者的研究成果对景观和高程进行成本赋值,结合景观生态重要性对景观成本赋值,林地生态功能最强成本值设置为 10,人工表明对生态影响最大,成本值设置为 800,其他景观成本范围在 10—800 之间,结合高程变化对源地连通的影响对高程进行成本赋值,获得景观成本和高程成本值分配表(表 2)。对研究区土地利用类型栅格数据和高程栅格数据进行重分类赋值,通过“综合加权指数和法”,运用栅格计算器构建综合成本值面,得到研究区综合成本值(图 3),并对各城市景观平均成本值进行统计分析(图 4),计算源地到研究区各点的累计成本值(图 5)。通过公式 1 进行计算 217 块生态源地间的最小成本路径,得到生态源地间潜在生态廊道 579 条(图 6)。

对区域景观成本值及最小成本路径获取的生态廊道进行统计分析。由图 3 可见,华北平原景观类型主要为耕地,同时城镇化严重,平原区域景观成本值明显高于草原、林地,特别是北京、天津、石家庄城区及周边范围成本值最高。由图 4 可见,天津、廊坊景观平均成本值较高,秦皇岛、承德景观平均成本值较低,其余城市平均成本值差异不大。结合图 5 可见,平原东南区域生态源地向研究区各点累计成本值最高,北京、天津、唐山地区累计成本值其次,林地草地累计成本值相对较小。平原区域生态源地面积较小,分布稀疏,表明源地在平原区域进行物质交流、传递消耗成本值较高,廊道连通性较低,生态稳定性差。由廊道分布及数量图(图 6 和

图 7) 可见, 途径北京和张家口廊道数量最多, 廊道数量超过 200 条, 途径衡水、石家庄、秦皇岛的廊道数量最少, 分别为 26 条、42 条和 51 条, 途径其他城市廊道数量约 100 条。通过对廊道长度统计分析(图 8), 张家口, 北京、承德廊道总长度较大, 长度大于 1500 km, 秦皇岛、衡水廊道总长度较小, 廊坊、石家庄、沧州、唐山、邢台、邯郸、天津、保定廊道总长度趋于 1100 km 左右。北京行政区面积相对较小, 廊道数量仅次于张家口, 区域廊道密度最大, 北京城镇化高, 应结合实际情况加强廊道优化。途径衡水区域内的生态源地严重缺失, 廊道数量最少, 仅为 26 条, 廊道总长度也仅 513 km, 应加强区域生态源地保护和建设, 提升区域综合生态服务功能。

表 2 不同景观类型的成本值
Table 2 Impedance values of different landscape types

景观类型 Landscape types	景观成本 Landscape Impedance/80%	高程 Elevation/m	高程成本 Elevation Impedance/20%
林地 Forest	10	$-15 \leq h < 100$	10
耕地 Farmland	100	$100 \leq h < 300$	30
草地 Grassland	80	$300 \leq h < 500$	80
湿地 Wetland	40	$500 \leq h < 800$	150
建设用地 Construction area	800	$800 \leq h < 1500$	250
其他 Other	500	$1500 \leq h < 2900$	400

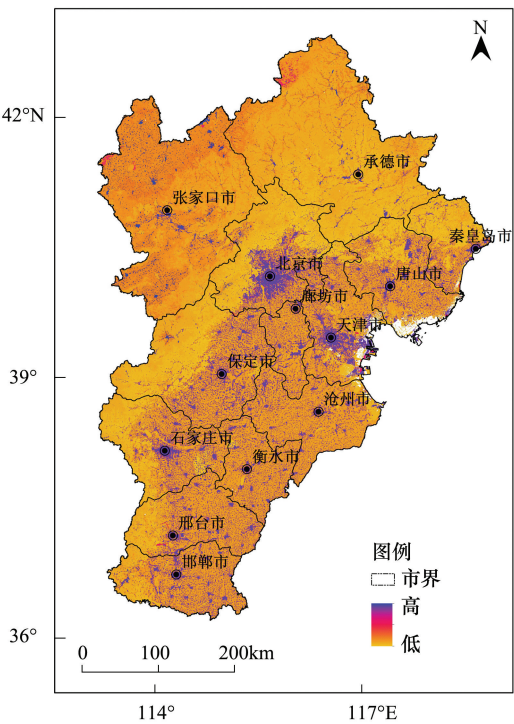


图 3 研究区综合成本值
Fig.3 Comprehensive cost of the study area

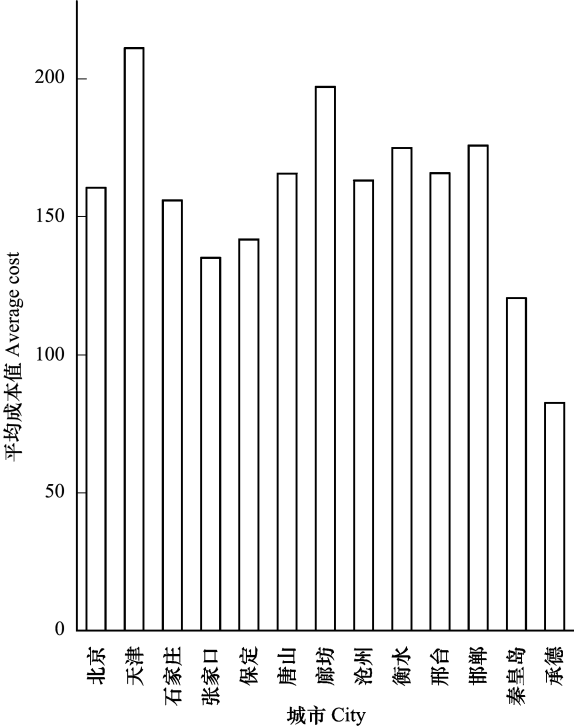


图 4 各地区平均成本值
Fig.4 Average cost of each study area

3.3 区域生态网络框架分析及生态节点优化

对选取的生态源地进行编号, 基于重力模型构建 217 个生态源地间的相互作用矩阵(表 3), 量化评价生态源地间相互作用强度。对于廊道重要性的判别, 很多学者开展了相关的研究工作, 本文根据许峰等和尹海伟等^[15,40]的研究成果, 将相互作用强度值 100 作为重要廊道提取的阈值, 同时结合京津冀城市群重要态源地的空间分布, 以林地、水涵养区、草地、湿地和湖泊间大型生态源地可连通为原则, 筛选具有重要连通性的廊道

作为重要生态廊道,其他剩余廊道作为一般廊道。结合京津冀现有国道、河流与所选廊道进行叠加分析,选取京津冀城市群重要生态廊道上的小型生态源地及潜在廊道与现有廊道交叉处作为生态节点,构建京津冀城市群地区生态网络分布图(图9)。

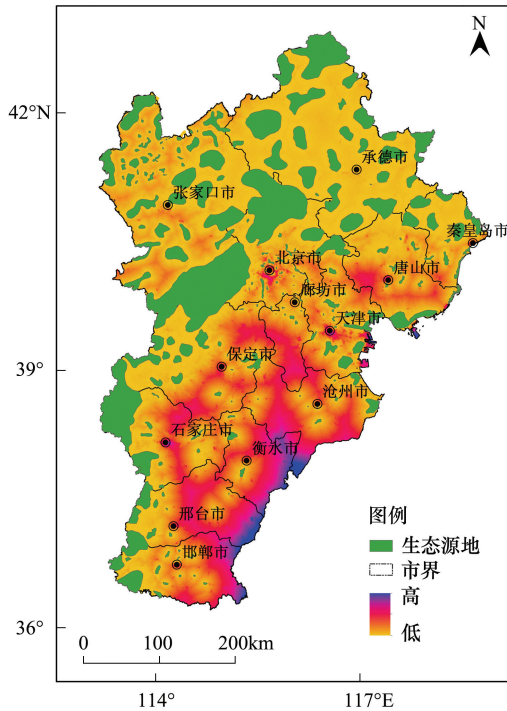


图5 源地到研究区各点累计成本值

Fig.5 Cumulative cost from source to each spot in the study area

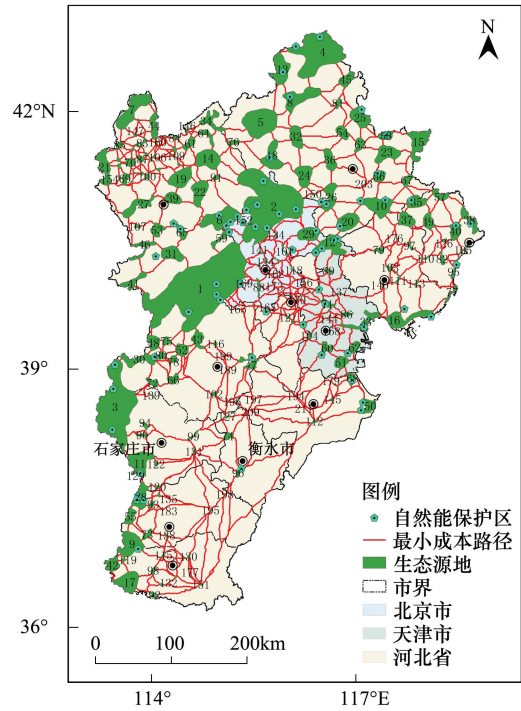


图6 研究区潜在生态廊道图

Fig.6 Map of potential ecological corridors in the study area

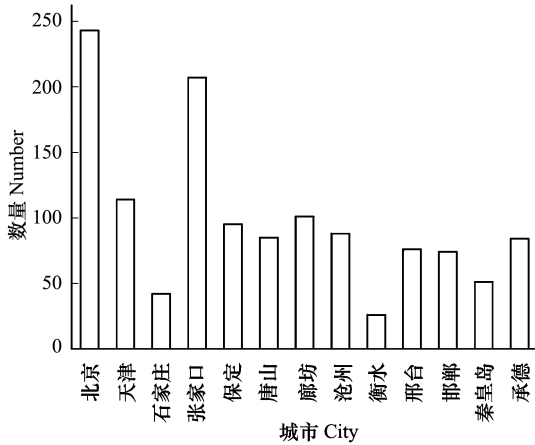


图7 各地区廊道数量

Fig.7 Numbers of the corridors in each study area

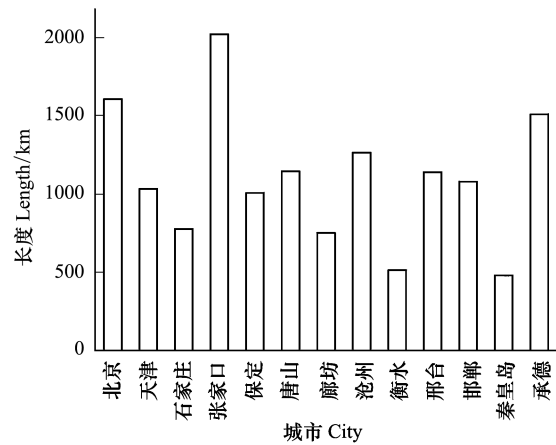


图8 各地区廊道总长度

Fig.8 Total length of the corridors in each study area

对廊道分类提取统计分析,由图10可见,承德、保定、张家口、保定重要生态廊道总长度较大,表明研究区内生态连通性较好。由图11可见,衡水、石家庄、承德的重要廊道数量与生态廊道数量相差不大,表明区域内廊道重要性较高。由图9可见,研究区生态廊道与现有廊道重叠度较高,但张家口草原区域现有国道和河流较少,同时区域内源地破碎化严重,潜在生态廊道较多,整体生态功能较为脆弱;承德、秦皇岛、唐山靠燕山山脉,区域内廊道重叠度最高,生态源地分布较为均匀,整体生态功能好于其他区域。平原区域北京、天津、唐

山、廊坊区域城镇发展较快,现有国道、河流密集与生态廊道交叉明显。平原南部生态廊道与现有国道、河流走向重叠不高,廊道间相互交叉情况较多,同时南部区域白洋淀、衡水湖和天津滨海湿地间连通效果不够理想。保定、石家庄、邢台城区间连通仅存在一条国道,其余廊道均为横向连通,应重点加强国道周边生态源地建设及保护,提升廊道连通性。综合来看,研究区现有国道河流能够确保大部分的生态景观连通性,但在张家口草原内部及平原区域存在廊道不够完善情况,应针对实际情况加强现有廊道的保护及建设新的廊道,进而提升生态综合服务功能。

表 3 基于重力模型的源地间相互作用强度矩阵

Table 3 Force matrix based on the source interactions between the gravity models

源地编号 Number	源地编号 Number	相互作用强度 Force	源地编号 Number	源地编号 Number	相互作用强度 Force	源地编号 Number	源地编号 Number	相互作用强度 Force
1	2	52188.31	2	141	391.50	7	147	160.43
1	31	44188.31	2	150	371.50	7	155	153.11
1	41	8426.20	2	152	371.00	8	13	153.09
1	43	4942.05	3	11	358.26	8	32	151.58
1	48	3347.22	3	30	354.39	8	45	145.82
1	52	3270.11	3	72	353.40	8	81	144.55
1	59	2875.65	3	90	348.43	9	42	126.47
1	75	2221.67	3	94	340.78	9	55	124.27
1	88	1640.93	3	139	333.91	9	73	118.14
1	141	1294.59	4	8	283.41	9	115	113.24
1	142	1246.12	4	13	274.65	9	119	112.59
1	165	1052.53	4	45	272.65	10	20	111.86
1	169	980.28	5	8	268.06	10	26	109.39
1	184	709.54	5	13	266.54	10	35	107.29
1	208	700.73	5	18	262.77	10	37	103.60
2	6	672.80	5	32	238.66	10	56	103.07
2	14	652.95	5	34	227.60	10	67	102.02
2	18	605.68	5	76	216.10	10	79	
2	24	569.57	6	22	215.26	10	176	
2	26	511.31	6	59	199.02	10	203	
2	29	460.05	6	65	190.92	11	28	
2	59	447.02	6	91	184.09	11	90	
2	76	443.12	6	152	180.65	11	122	
2	91	397.93	7	44	170.46	11	131	
2	134	396.51	7	85	163.57	12	20	

生态节点可加强廊道交汇处的生态功能^[41]。由图 9 可见,草原区域生态破碎度较高,草原生态结构较为脆弱,由小型生态源地组成的生态廊道较多,要增强小型生态源地类型节点的保护,确保大型生态源地的连通性,进而提高生态网络功能。山区增加承德、唐山、秦皇岛行政区周边廊道交叉点为生态节点。北京、天津、廊坊内部城镇化迅速,应加强廊道交叉密集区的生态节点优化,研究区东南部生态源地较少,大型生态源地间连通廊道距离较长,廊道稳定性较差。沧州、衡水、石家庄、邢台、邯郸行政区内廊道上的小型生态源地和生态节点较少,应该加强廊道间的生态源地建设,对小型生态源地加大保护力度,并增加重要廊道的生态节点建设。此外,应提高生态源地建设保护意识和增强保护措施,确保区域生态网络稳定性,提升区域生态环境功能。

4 结论

本文采用最小成本路径模型构建京津冀城市群生态网络,不但对研究区生态环境的保护,及生态系统功

能的提高等方面具有重要意义,还为其他区域城市群生态网络的构建提供新思路。研究成果如下:

(1) 基于主体功能规划、湿地及自然保护区等数据与土地利用数据进行叠加分析,获得京津冀生态源地,生态源地总面积为 47031.98 km²,源地类型以林地为主,湿地草地占比例较小,面积分别占生态源地总比例的 82.78%, 11.05% 和 6.17%,林地主要分布在山脉地区,草地主要分布在张家口西北侧,湿地主要分布在华北平原。

(2) 通过综合指数加权法构建景观成本值面,采用最小成本路径模型提取廊道 579 条,并对研究区景观成本及廊道分布进行了详细分析。其中,平原区域景观成本值高于草原和林地,特别是北京、天津石家庄城区及周边范围景观成本值最高;天津市、廊坊市景观平均成本值较高,为 200 左右,承德市景观平均成本值最低,为 70 左右。另外,北京和张家口区域内廊道数量最多,超过 200 条,同时区域内廊道总长度最大,达 1500 km 以上。北京、张家口区域网络结构复杂,表明其综合生态服务功能相对较好。

(3) 根据源地间相互作用强度,通过重力模型评价廊道的重要程度,同时确保大型、重要生态源地间的连通性,筛选出重要生态廊道。张家口区域重要廊道数量最多,达 70 条以上。承德区域重要廊道总长度最长,表明区域综合生态服务功能较好。衡水重要廊道数量最少,廊道总长度也相对较小,大型生态源地数量不多,区域综合生态服务功能较差,廊道较为脆弱。生态节点上,研究区东南部的沧州、衡水、石家庄、邢台、邯郸区域内廊道上小型生态源地和生态节点较少。

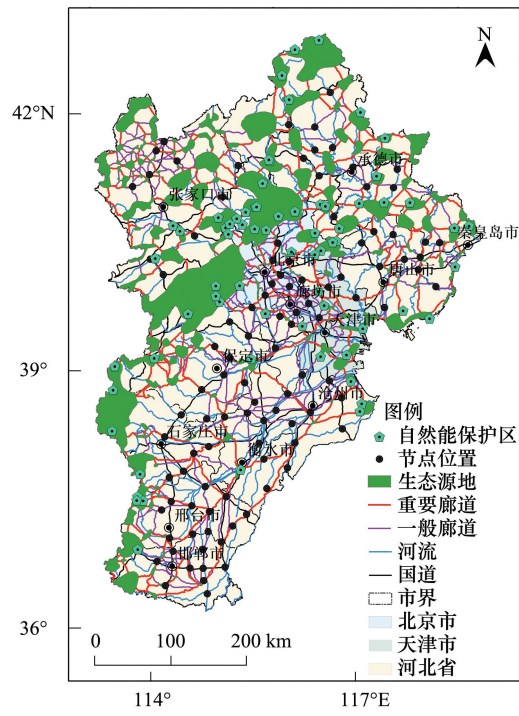


图 9 京津冀城市群地区生态网络分布图

Fig. 9 Ecological network of the Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan region

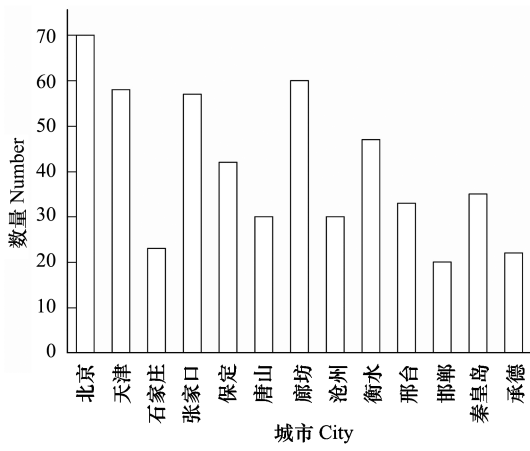


图 10 各地区重要廊道数量

Fig.10 Numbers of the important corridors in each study area

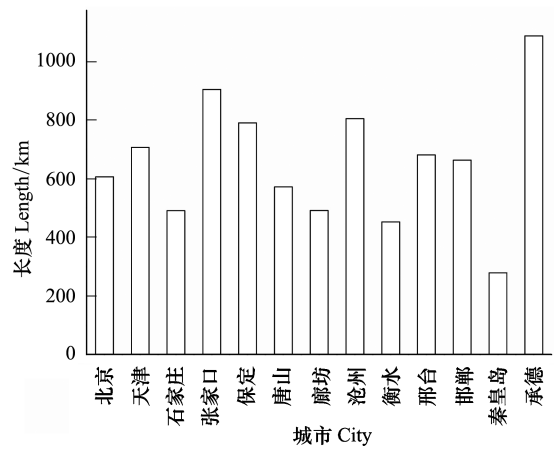


图 11 各地区重要廊道总长度

Fig.11 Total length of the important corridors in each study area

综合京津冀地区现有源地、廊道的空间分布以及存在的问题提出以下建议:首先,在源地分布上,平原区域生态源地面积小、分布不均。研究区东南部重要大型生态源地较少,源地间廊道长度较大,应加强长距离廊道上

生态源地的建设保护,提升区域景观连通性,特别是在京津冀快速协同发展的背景下,应在北京东南部廊坊及天津西部适当建立大型生态源地;其次,雄安新区的扩建将对白洋淀湿地综合生态服务功能影响加大,需重点加强白洋淀区域生态保护建设;再次,衡水湖是平原中心最大的生态源地,对周围生态综合服务功能最高,要重点加强白洋淀与衡水湖间生态廊道的构建。

参考文献 (References):

- [1] 王丽. 京津冀地区资源开发利用与环境保护研究. 经济研究参考, 2015, (2): 47-71.
- [2] 郭莉. 京津冀平原区土壤环境质量和土地资源分布特征. 城市地质, 2017, 12(2): 60-64.
- [3] 张惠远, 刘煜杰, 张强, 郝海广, 杨荣金. 京津冀区域环境形势及绿色发展路径分析. 环境保护, 2017, 45(12): 9-13.
- [4] 李卓, 孙然好, 张继超, 张翀. 京津冀城市群地区植被覆盖动态变化时空分析. 生态学报, 2017, 37(22): 7418-7426.
- [5] 王静, 周伟奇, 许开鹏, 颜景理. 京津冀地区城市化对植被覆盖度及景观格局的影响. 生态学报, 2017, 37(21): 7019-7029.
- [6] 俞会新, 李玉欣. 京津冀生态环境承载力对比研究. 工业技术经济, 2017, 36(8): 20-25.
- [7] 张伟, 蒋洪强, 王金南. 京津冀协同发展的生态环境保护战略研究. 中国环境管理, 2017, 9(3): 41-45.
- [8] 丁立仲, 徐高福, 卢剑波, 章德三, 方炳富. 景观破碎化及其对生物多样性的影响. 江苏林业科技, 2005, 32(4): 45-49, 57-57.
- [9] Wang X Y, Wu S Y, Li S C. Urban metabolism of three cities in Jing-Jin-Ji urban agglomeration, China: using the MuSIASEM approach. Sustainability, 2017, 9(8): 1481.
- [10] Toccolini A, Fumagalli N, Senes G. Greenways planning in Italy: the Lambro river valley greenways system. Landscape and Urban Planning, 2006, 76(1/4): 98-111.
- [11] 贾振毅, 陈春娣, 童笑笑, 吴胜军, 周文佐. 三峡沿库城镇生态网络构建与优化——以重庆开州新城为例. 生态学杂志, 2017, 36(3): 782-791.
- [12] 李维平, 包衡, 张明海. 中国东北虎栖息地分析与潜在生态廊道构建. 兽类学报, 2017, 37(4): 317-326.
- [13] Ferretti V, Pomarico S. An integrated approach for studying the land suitability for ecological corridors through spatial multicriteria evaluations. Environment, Development and Sustainability, 2013, 15(3): 859-885.
- [14] Chen L D, Fu B J, Zhao W W. Source-sink landscape theory and its ecological significance. Frontiers of Biology in China, 2008, 3(2): 131-136.
- [15] 许峰, 尹海伟, 孔繁花, 徐建刚. 基于 MSPA 与最小路径方法的巴中西部新城生态网络构建. 生态学报, 2015, 35(19): 6425-6434.
- [16] 陈竹安, 况达, 危小建, 张立亭. 基于 MSPA 与 MCR 模型的余江县生态网络构建. 长江流域资源与环境, 2017, 26(8): 1199-1207.
- [17] 肖长江, 欧名豪, 李鑫. 基于生态-经济比较优势视角的建设用地空间优化配置研究——以扬州市为例. 生态学报, 2015, 35(3): 696-708.
- [18] 俞孔坚, 王思思, 李迪华, 李春波. 北京市生态安全格局及城市增长前景. 生态学报, 2009, 29(3): 1189-1204.
- [19] 孔繁花, 尹海伟. 济南城市绿地生态网络构建. 生态学报, 2008, 28(4): 1711-1719.
- [20] 张远景, 俞滨洋. 城市生态网络空间评价及其格局优化. 生态学报, 2016, 36(21): 6969-6984.
- [21] 陈春娣, 贾振毅, 吴胜军, 童笑笑, 周文佐, 陈若漪, 张超林. 基于文献计量法的中国景观连接度应用研究进展. 生态学报, 2017, 37(10): 3243-3255.
- [22] 刘世梁, 侯笑云, 尹艺洁, 成方妍, 张月秋, 董世魁. 景观生态网络研究进展. 生态学报, 2017, 37(12): 3947-3956.
- [23] 国务院. 全国主体功能区规划. 北京: 国务院, 2010.
- [24] 北京市人民政府. 北京市主体功能区规划. 北京: 北京市人民政府, 2012.
- [25] 天津市人民政府. 天津市主体功能区规划. 天津: 天津市人民政府, 2012.
- [26] 河北省人民政府. 河北省主体功能区规划. 河北: 河北省人民政府, 2013.
- [27] 国家环境保护总局自然生态保护司. 全国自然保护区名录. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [28] 环境保护部. 中国生物多样性保护战略与行动计划(2011—2030年). 北京: 环境保护部, 2010.
- [29] 国家林业局. 中国湿地保护行动计划. 北京: 中国林业出版社, 2000.
- [30] Zhang X, Cui J T, Liu Y Q, Wang L. Geo-cognitive computing method for identifying "source-sink" landscape patterns of river basin non-point source pollution. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2017, 10(5): 55-68.
- [31] 陈利顶, 傅伯杰, 刘雪华. 自然保护区景观结构设计与物种保护——以卧龙自然保护区为例. 自然资源学报, 2000, 15(2): 164-169.
- [32] Knaapen J P, Scheffer M, Harms B. Estimating habitat isolation in landscape planning. Landscape and Urban Planning, 1992, 23(1): 1-16.
- [33] 俞孔坚. 生物保护的景观生态安全格局. 生态学报, 1999, 19(1): 8-15.
- [34] 陈利顶, 傅伯杰, 徐建英, 巩杰. 基于“源-汇”生态过程的景观格局识别方法——景观空间负荷对比指数. 生态学报, 2003, 23(11): 2406-2413.
- [35] 谢慧玮, 周年兴, 关键. 江苏省自然遗产地生态网络的构建与优化. 生态学报, 2014, 34(22): 6692-6700.
- [36] 诸葛海锦, 林丹琪, 李晓文. 青藏高原高寒荒漠区藏羚羊生态廊道识别及其保护状况评估. 应用生态学报, 2015, 26(8): 2504-2510.
- [37] 徐文彬, 尹海伟, 孔繁花. 基于生态安全格局的南京都市区生态控制边界划定. 生态学报, 2017, 37(12): 4019-4028.
- [38] 刘杰, 叶晶, 杨婉, 郭怀成, 于书霞. 基于 GIS 的滇池流域景观格局优化. 自然资源学报, 2012, 27(5): 801-808.
- [39] 袁钟, 赵牡丹, 刘蕊娟. 基于最小成本距离与改进引力模型的城市绿地网络构建与优化. 陕西师范大学学报: 自然科学版, 2017, 45(2): 104-109.
- [40] 尹海伟, 孔繁花, 祈毅, 王红扬, 周艳妮, 秦正茂. 湖南省城市群生态网络构建与优化. 生态学报, 2011, 31(10): 2863-2874.
- [41] 傅强, 顾朝林. 基于 CL-PIOP 方法的青岛市生态网络结构要素评价. 生态学报, 2017, 37(5): 1729-1739.