

雄安新区生态安全格局识别与优化策略

彭建^{1,2}, 李慧蕾¹, 刘焱序¹, 胡熠娜¹, 杨 旸²

(1. 北京大学城市与环境学院 地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871;

2. 北京大学深圳研究生院城市规划与设计学院 城市人居环境科学与技术重点实验室, 深圳 518055)

摘要: 雄安新区的设立对于调整、优化京津冀城市空间结构具有深远的历史意义。面向“生态标杆”的新区建设理念, 生态安全格局识别及优化是保障雄安新区生态安全、实现可持续发展的基本空间途径。本文基于雄县、容城、安新三县生态本底特征, 选取并定量评估粮食供给、产水、土壤保持、生境维持和近水游憩5种生态系统服务, 识别生态源地; 利用VIIRS/DNB夜间灯光数据修正基于地类赋值的基本阻力面, 并运用最小累积阻力模型识别生态廊道; 最后基于现状生态安全格局, 探讨绿色生态宜居新城目标下的生态安全格局优化策略。研究表明: 雄安三县生态源地占到全区土地总面积的41.88%, 包含14个生态源地斑块, 主要分布在白洋淀周边; 生态廊道总长度107.21 km, 分4大组团呈环状分布; 现有生态源地辐射面积占到全区的70.6%, 在雄县县城周边新建辐射面积为227 km²的生态源地可满足全区85%的源地辐射面积规模要求。本文提出的生态安全格局优化方案可为雄安新区开发建设提供空间指引。

关键词: 生态安全格局优化; 生态源地; 生态廊道; 生态系统服务; 雄安新区

DOI: 10.11821/dlxb201804009

1 引言

2017年4月1日, 中共中央、国务院决定在河北省雄县、容城、安新三县及周边部分区域设立国家级新区——雄安新区, 新区的设立对于调整、优化京津冀城市空间结构具有深远的历史意义^[1]。面向“生态标杆”的建设理念, 针对雄安新区的生态本底特征, 识别出对区域生态安全具有重要影响的斑块和廊道, 合理配置绿色基础设施、优化区域生态空间, 充分发挥区域生态系统功能, 可为提升新区生态持续性提供关键保障^[2-4]。构建生态安全格局可以合理调控生态过程, 维持区域物质流通和能量循环, 是强化区域生态系统健康、保障生态安全的重要途径^[5-6]。在雄安新区建设蓝图布局伊始, 探索新区生态安全格局识别与优化可以为雄安新区绿色生态宜居新城建设提供重要决策参考。

生态安全格局以景观生态学作为理论支持, 其实质是指景观中某种潜在的生态系统空间格局^[7]。目前, 生态安全格局的构建方法已日趋成熟, “识别源地—构建阻力面—提取廊道”的研究框架业已成为生态安全格局构建的基本模式^[8-9]。其中, 生态源地是指对区域生态安全有重要意义或具有辐射功能的生境斑块, 是构建生态安全格局的基础^[10]; 一般通过选取自然保护区、风景名胜区等区域, 或定量评价生态重要性来识别^[11]。阻力面作为生态安全格局构建中的另一项核心要素, 一般通过对地类赋值得到。由于直接赋值主观性太强, 且忽略了同一地表覆被类型下的内部差异, 掩盖了人类活动对生态阻力

收稿日期: 2017-07-21; 修订日期: 2018-2-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(41271195) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41271195]

作者简介: 彭建(1976-), 男, 四川彭州人, 副教授, 主要从事综合自然地理学、景观生态与土地利用、生态系统综合评价研究。E-mail: jianpeng@urban.pku.edu.cn

系数的影响,近年来重点探讨阻力面的修正^[12]。

雄安三县现有土地开发程度低、发展空间充裕,具备新区开发建设的基本条件^[13],但如何在新区开发过程中确保区域生态安全是当前亟待解决的关键问题,生态安全格局则提供了一种重要的空间途径。因此,考虑到雄安三县位于华北平原农耕区,且拥有白洋淀湿地,选择了能体现其生态基底特征的5种生态系统服务(粮食供给、产水、土壤保持、生境维持和近水游憩)进行定量评估,选取高服务供给区作为区域生态安全源地;基于最小累积阻力模型识别生态廊道,构建生态安全格局;在此基础上探讨生态安全格局的优化策略,以期为新区开发建设生态城市、保障区域生态安全提供空间指引。

2 研究区与研究方法

2.1 研究区概况

雄安新区地处北京、天津、保定腹地,距离北京、天津市中心各约110 km,规划范围涉及河北省雄县、容城、安新三县及周边部分区域(图1)。本文将雄县、容城、安新三县作为生态安全格局构建的研究区,土地总面积为1557 km²。雄安三县属于暖温带半湿润大陆季风性气候,四季分明,春旱多风、夏热多雨、秋凉气爽、冬寒少雪。全区位于太行山麓平原向冲积平原过渡地带,地形开阔平坦,西北部稍高,南部及东南部地势较低。三县土壤肥沃,土地利用以耕地为主,2015年水田与旱地的面积比例约为2:5,植被覆盖率相对较低。

位于雄安新区东南部的白洋淀是华北平原上最大的淡水湖泊湿地,总面积约366 km²,在行政区划上隶属于保定市的安新、高阳、容城、雄县和沧州市的任丘等县,其中85%的水域位于安新县境内。白洋淀是大清河水系中重要蓄水枢纽,在水源供给、水产品供给以及调节气候、调蓄洪水、保护生物多样性等方面都发挥了巨大生态功能^[14]。然而,近年来由于城镇开发建设、水资源管理不善,白洋淀水域面积大幅萎缩,蓄水量减少、水体富营养化严重、生物多样性遭到破坏^[15],湿地生态功能的修复也因此成为雄安新区的生态建设重点。

2.2 数据来源

本文的基础数据主要包括:① 2015年雄安三县土地利用与覆被,空间分辨率为30 m,源自中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>),主要用于生境质量分析;② ASTER GDEM数据,空间分辨率为30 m,源自地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>),用于土壤保持服务中地形因子的测算;③ 2015年气象站点数据,包括气温和降水

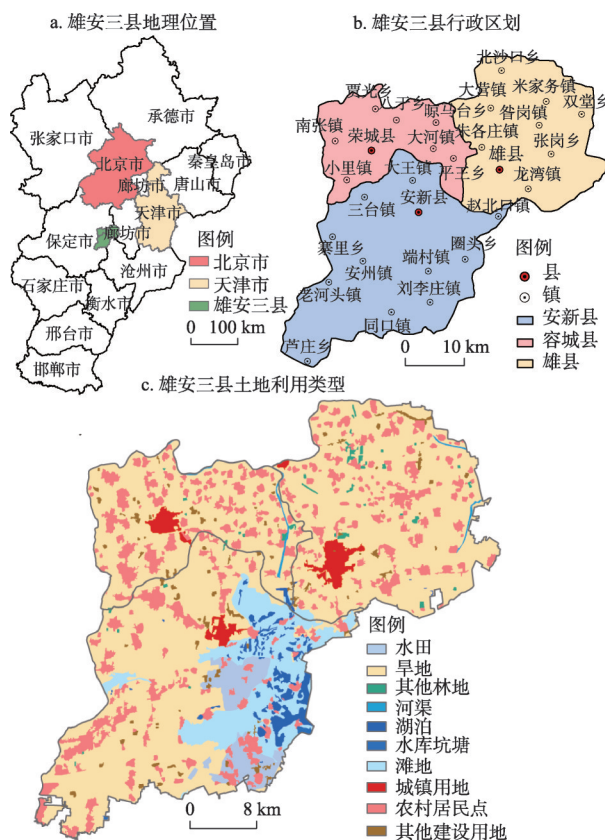


图1 雄安新区地理位置

Fig. 1 Location of the Xiong'an New Area

数据, 来自中国气象数据共享网 (<http://data.cma.cn/>), 用于评估产水和土壤保持服务; ④社会经济数据, 来源于雄安三县统计年鉴, 用于计算粮食产量; ⑤ Open Street Map 路网数据 (<https://www.openstreetmap.org/>) 和 2015 年 8 月的 VIIRS/DNB 夜间灯光数据 (<https://ncc.nesdis.noaa.gov/VIIRS/>), 分别用于评估生境质量和修正基本阻力面。

2.3 研究方法

2.3.1 生态源地识别 生态源地是指提供重要生态系统服务的斑块。针对区域典型生态系统, 定量评估生态系统服务的供给能力, 识别生态系统服务供给的重要区域, 可以作为源地识别的有效方法^[7]。雄安三县位于华北平原农耕区, 土地利用以耕地为主, 植被覆盖率相对较低; 白洋淀几乎占到安新县土地面积的 1/2, 旅游资源和生物多样性丰富。针对研究区的自然基底特征和生态环境现状, 本文选取了粮食供给、产水、土壤保持、生境维持和近水游憩 5 种生态系统服务进行定量评价。

具体而言, 粮食供给服务按照各县域耕地的归一化植被指数 (NDVI) 对统计年鉴中的粮食产量进行空间插值分配, 得到栅格化的粮食产量; 产水服务使用 InVEST 模型的产水模块, 基于水量平衡方法进行估算^[16]; 土壤保持使用修正的通用土壤流失方程, 以潜在土壤侵蚀量与实际土壤侵蚀量的差值计算土壤保持量^[17]; 生境维持使用 InVEST 模型的生物多样性模块来评估, 以生境质量好坏表征维持生物多样性的能力高低^[18]; 近水游憩考虑雄安新区主要的河渠、湖泊、水库坑塘和滩地, 以 5 min、10 min、15 min、20 min、25 min 行人的步行距离分别做缓冲区, 纳入不同等级的近水游憩范围。

在此基础上, 本文选取位于每种服务前 20% 的斑块, 取并集得到生态源地, 从而保证生态源地具有较高的生境质量。由于部分面积小的斑块分布零碎、辐射功能弱, 对整体生态安全格局影响较小, 本文剔除了面积小、分布零碎的斑块, 而对面积小但分布集中的斑块则进行合并处理^[19]。

2.3.2 生态阻力面设置 物种、能量在空间中迁移、流动时, 会受到自然干扰或人为活动的影响, 并集中体现为不同土地利用类型之间的特征差异。本文将雄安三县各类土地利用类型对物种迁移的基本生态阻力系数设定为: 林地 1, 水田 20, 旱地 30, 水体 50, 农村居民点 400, 城镇及其他建设用地 500^[9], 构建基本生态阻力面。阻力面设置是廊道准确识别的关键, 仅对土地利用类型赋值会掩盖同一地表覆被类型下的生态阻力差异, 忽略了人为活动干扰的影响。夜间灯光数据广泛应用于人口密度、经济发展、城市热岛效应等方面, 是对人类活动强度的综合表征^[20]。因此, 本文使用 VIIRS/DNB 夜间灯光数据表征人类活动干扰来对基本生态阻力面进行修正, 具体如下式所示:

$$R_i = \frac{NL_i}{NL_a} \times R \quad (1)$$

式中: R_i 为基于夜间灯光指数修正的栅格生态阻力系数; NL_i 为栅格 i 的夜间灯光指数; NL_a 为栅格 i 对应的景观类型 a 的平均夜间灯光指数, R 为栅格 i 对应土地利用类型的基本生态阻力系数。

2.3.3 生态廊道提取 作为区域内源地斑块间物质流与能量流的连通载体, 生态廊道是生态安全格局的重要组成部分之一, 可以为物种迁徙提供重要通道, 具有生态、社会、文化等多种功能^[21-22]。识别关键廊道并对其加以保护是维护区域生态要素流动的重要保障; 而对现有廊道进行优化, 重点改进廊道布局, 有助于增强生态系统功能的完整性。

本文采用最小累积阻力 (Minimum Cumulative Resistance, MCR) 模型提取源地间的生态廊道, 该模型考虑到源、距离和景观介面三种因素, 计算物种从源地到目的地运动过程中需要耗费的代价, 选取其中阻力最低的通道作为源地之间的生态廊道:

$$MCR = f_{\min} \sum_{j=n}^{i=m} D_{ij} \times R_i \quad (2)$$

式中： MCR 为最小累积阻力值； D_{ij} 为物种从源地 j 到景观单元 i 的空间距离； R_i 为景观单元 i 对物种运动的阻力系数； f 表示最小累积阻力与生态过程的正相关关系。

3 结果与分析

3.1 重要生态源地

雄安新区单一生态系统服务格局如图2所示。雄安三县属于河北省低平原农区，人均耕地面积大但旱涝灾害频繁，属于生产力水平低但增产潜力大的地区。粮食产量的高值区位于容城县东部和安新县南部，以旱地为主，地势平坦开阔，宜耕面积大。产水服务方面，由于不透水面的降水入渗低、洪峰流量大，建设用地的产水量高；林地土壤的入渗量大，对地表径流具有拦蓄作用，因而产水量较低；产水量最小的为水域，洼淀坑塘可以在汛期起到滞洪、蓄洪的作用。土壤保持服务方面，雄安三县位于华北平原微度侵蚀区，虽有水蚀和风蚀但程度都属于微度，因而潜在土壤侵蚀量和实际土壤侵蚀量都较低。相较而言，安新县西南部、北部的土壤保持量高，而容城与雄县交界处的土壤保持量较低。生境维持服务高的区域主要分布在白洋淀及其周边，建设用地和道路周边人类活动强度大、生境质量低；白洋淀水陆纵横交错，在淀区内部也存在生境质量差的区域。由于大规模的淀中村和堤上村内普遍没有污水处理，对淀区的生境质量造成一定影响。通过水体缓冲区设置得到近水游憩服务的空间分布，高值区主要位于安新县，尤其是安新县城和北部的大王镇以及位于淀区的段村镇等能够在步行范围享受到生态系统文化服务。

选取位于每种生态系统服务前20%的区域作为该种服务的优势区，其中产水服务选取产水量最低（即蓄水量最高）的20%区域，对优势区进行空间合并最终得到雄安新区生态源地分布格局（图3）。整体来看，生态源地集中分布在白洋淀及其周边，零散分布于研究区西部及西南部。生态源地面积占到全区土地总面积的41.88%，在雄县、容城和安新三县的分布比例分别为17.01%、18.41%和64.58%；各县内部生态源地占土地总面积的百分比分别为21.48%、38.22%和57.93%，表明安新县生态基底最好、容城县次之、雄县相对较差。将5种生态系统服务的优势区进行叠加，从多重生态系统服务供给而言，提供1项优势生态系统服务的区域占到生态源地总面积的62.50%，零散分布在全区内；提供2项优势服务的占比33.97%，主要分布在水体；能提供3项、4项优势服务的分别占3.52%和0.01%，全部位于水体；没有能够同时提供5项优势生态系统服务的斑块。提供多重生态系统服务的斑块占比非常少，表明生态系统服务间存在此消彼长的权衡关系。从土地利用类型来看，雄安三县的地表覆被类型极为简单，耕地、建设用地和水体分别占研究区土地总面积的68.65%、19.49%和11.27%，合计占99.41%，生态源地主要由耕地和水体构成。

3.2 关键生态廊道

提取生态源地的几何中心点，从每一个几何中心点出发，根据最小累积阻力模型的基于图层（BEST-SINGLE）方式提取出该中心点到剩余 $n-1$ （ n 为生态源地几何中心点数）个中心点间的最小耗费路径，作为生态源地间的生态廊道。如图4所示，雄安新区的生态廊道整体沿研究区边界内缘自东向西、向南呈弧形延伸，为生态源地之间的物种迁徙和能量传输提供流通通道。生态廊道总长度为107.21 km，大致分成4大组团，避开

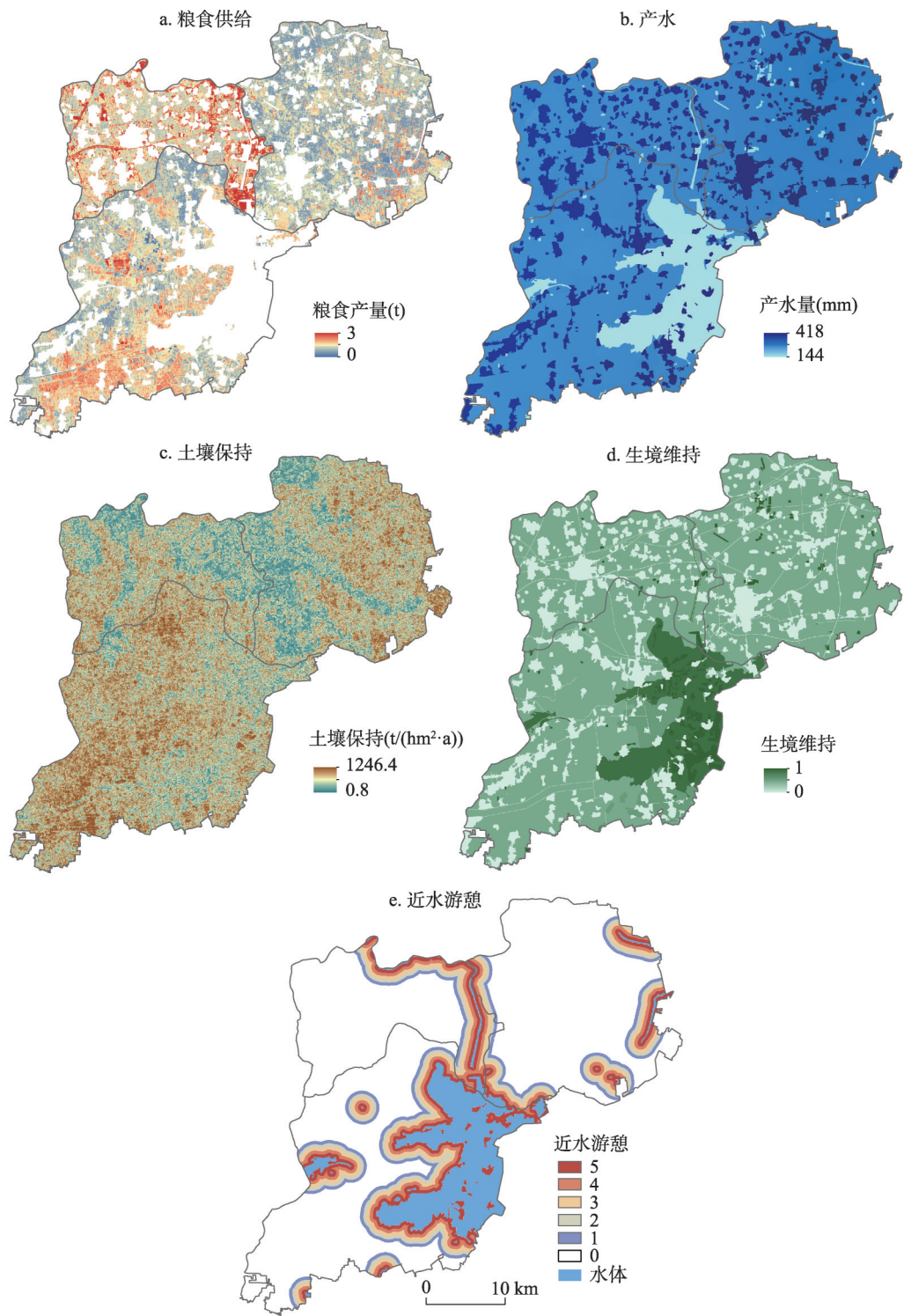


图2 雄安新区生态系统服务空间格局

Fig. 2 Spatial pattern of ecosystem services in Xiongan New Area

了主要的城镇建设用地,沿农村居民点之间的耕地分布。生态廊道将区域内生态源地有效连通起来,维持了生态功能的连续性,保障了区域生态安全格局。在新区开发建设中,应尽量避免干扰尤其是破坏现有的生态廊道,以免阻断物种间的扩散与流通;同时加大对自然廊道的生态绿化建设以提升廊道的生态功能。

3.3 生态安全格局优化

基于土地利用现状格局识别出来的雄安新区生态安全格局,生态廊道主要分为4个组团,未能实现全区域的连通。为此,有必要探索生态廊道的优化建设,提升生态源地间的连通度,构筑完善的生态网络体系。同时,雄安新区绿色生态宜居城市的建设目标中,预期绿地面积比例将超过50%。从现有地形地貌、土地利用和地表覆被来看,雄安三县地形平坦、地表类型单一、植被覆盖率低,亟待巨量生态建设。根据空间相互作用和协同共生原理,有必要基于生态安全格局组分的优化,来指导植树、垦田、建城,从而提升区域生态环境质量,促进可持续发展。具体而言,本文依托对现有生态源地辐射范围的分析,尝试识别出需要新建生态源地的区域及其辐射面积;识别不同组团廊道邻近生态源地几何中心点之间的最小累积耗费路径,辨识重点建设廊道以实现四大组团廊道的连通。

以生态源地几何中心点为中心,根据每个生态源地的面积大小,分别设置2 km、3 km、4 km、5 km、6 km、8 km、10 km等不同宽度的缓冲区作为生态源地的辐射区(图5)。

经统计,现有生态源地的辐射面积达到全区土地总面积的70.6%;若要实现85%的覆盖率,还需要至少新增生态源地辐射面积227 km²。现状生态源地辐射未覆盖区域除了分布在研究区边缘,在雄县县城周边也存在一片较大范围的未覆盖区。该区需要重点新增生态源地,如将白洋淀周边较浅的湿地深挖,使用淤泥堆积造山、植树造林,基于山水格局再造、绿色基础设施建设优化城市生态安全格局。对照现有相关规划,雄安新区建设的30 km²起步区位于白洋淀西北部的安新县大王镇、三台镇,属于生态源地4的辐射范围,且连通生态源地2、4的生态廊道横穿此区域。未来起

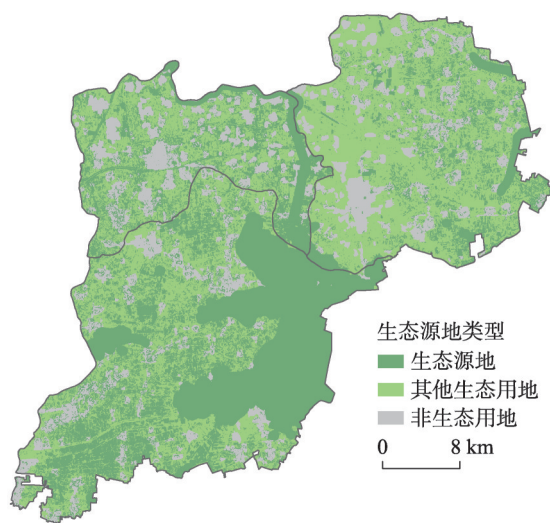


图3 雄安新区生态源地分布

Fig. 3 Spatial distribution of ecological sources in Xiong'an New Area

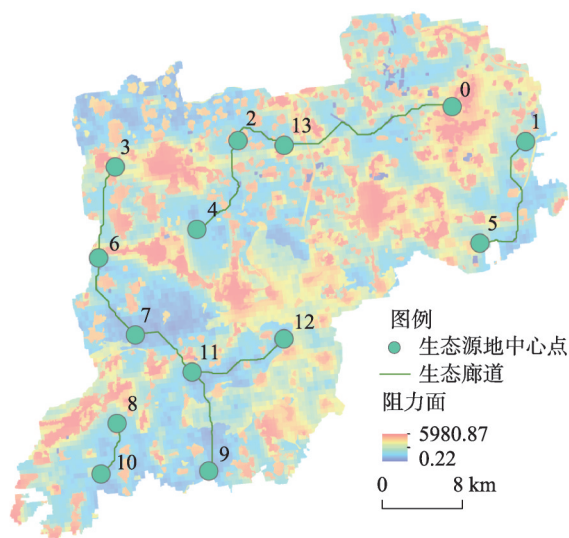


图4 雄安新区生态廊道分布

Fig. 4 Spatial distribution of ecological corridors in Xiong'an New Area

步区建设过程中,可以把区域生态廊道延伸到城市内部生产、生活空间,与城市建成区的绿地系统相融合,从而实现城市一区域生态功能的连通。针对生态廊道的网络优化,提取两两组团间的3条最小耗费路径作为重点建设廊道,通过人工绿道、水系的建设,降低廊道及周边区域不透水面比率、提升植被覆盖度。新增三条重点建设生态廊道后,将显著提升生态源地的连通度,有助于区域生物多样性的维持与更新,保障了区域生态功能与过程的整体性与延续性。

对新增源地辐射区进一步空间分析可以发现,建设面积为16.5 km²的雄县县城位于该区域,面积占比14.5%;而现状土地利用类型则以耕地为主,面积占比69.4%。若要新建辐射面积为227 km²的生态源地,需要预留20~30 km²的绿色基础设施建设用地。但县城作为研究区人口、产业相对较为集聚的地区,相关生产、生活基础设施便利,是区域社会经济发展的重点增长极。因此,雄安新区的生态安全格局优化尤其需要重视对雄县城市空间蔓延的控制,圈定明确的城市增长边界,高效利用城市生产、生活空间,切实保护区域生态空间。

基于对雄安新区生态安全格局中源地和廊道的优化重组,本文提出构建以“一带、四区、多中心”为核心的生态空间布局优化模式,形成雄安新区功能化、网络化的空间结构体系。“一带”即环白洋淀生态带,包括现状生态廊道和重点建设生态廊道,是雄安新区的中央生态带。“四区”包括西部都市农业生态区、南部湖淀水源涵养区、北部城镇发展组团区、东部创新产业集群区。其中,西部地区以丰富的耕地资源和高粮食生产力为特色,可以发展生态、有机、绿色农业,为城市提供农副产品、发挥农业景观生态功能;南部地区以白洋淀湿地为核心,为新区提供水源涵养、生境维持、近水游憩等生态系统服务;北部地区分布有容城和安新二县县城,新区规划建设起步区也位于北部,宜重点打造城镇发展组团区,形成“北城南水”的格局;东部地区依靠雄县现有产业基础,承接非首都功能,发展高端高新产业,期望未来能够建成创新产业集群地。“多中心”即生态源地的中心点,作为雄安新区生态安全格局的生态绿心,需要重视环境保护和生态管理,保障局部区域的生态质量。

4 结论与讨论

4.1 结论

雄安新区是继深圳经济特区和上海浦东新区之后设立的又一具有全国意义的新区,承载着京津冀协同优化的历史重任。在此发展背景下,本文以雄安新区为例,依循“识别生态源地—构建阻力面—提取生态廊道”的研究框架,定量评估了粮食供给、产水、土壤保持、生境维持和近水游憩等5种生态系统服务以识别生态源地,采用夜间灯光数

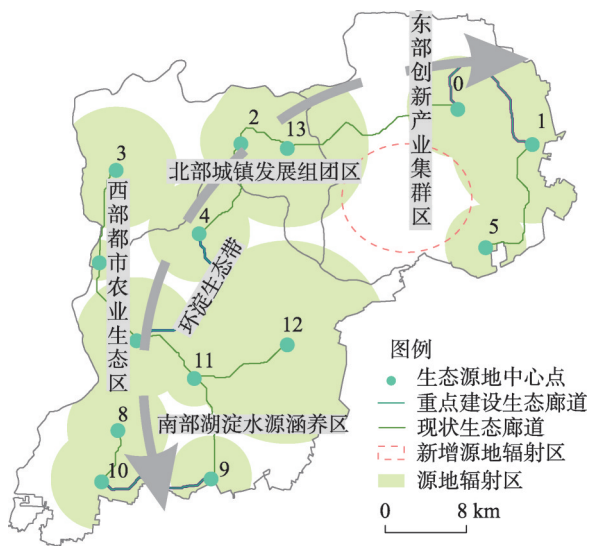


图5 雄安新区生态安全格局优化

Fig. 5 Ecological security pattern optimization in Xiong'an New Area

据修正基本生态阻力面, 基于最小累积阻力模型提取生态廊道, 从而构建新区生态安全格局, 并在此基础上明晰新增生态源地、廊道的重点建设区, 优化生态安全格局。

研究结果表明: 雄安新区现有生态源地面积占全区的41.88%, 主要分布在白洋淀周边地区; 生态廊道总长度为107.21 km, 分为4个组团沿新区外围自东向西、南方向延伸; 生态源地能够辐射全区70.6%的面积, 在雄县县城周边新建辐射面积为227 km²的生态源地可以实现辐射到全区土地总面积的85%; 为了提升生态廊道整体的连通性, 建议重点建设3条生态廊道提升源地间的连通度。

4.2 讨论

值得注意的是, 当前生态安全格局的构建大多基于静态视角, 即通过现状地理、生态要素识别源地与廊道。然而, 区域生态建设是动态、持续的过程, 相关要素的空间格局会随着区域快速发展产生较大的变动^[23]。生态规划应当具有一定的超前性, 针对雄安新区当前以旱地为主的景观基质特征以及预期巨量的城市开发及生态建设, 对雄安新区生态安全格局的探讨有必要关注区域生态要素的动态演化, 强调对区域生态要素时空量序构的远期规划。因此, 在依托现状生态要素构建生态安全格局的基础上, 有必要提出新区生态安全格局的远期优化方案, 强化生态安全格局对区域生态安全保障的前瞻性。具体而言, 生态格局优化首先需要侧重生态源地的建设, 在雄县县城周边区域以农田为基质要素, 新增生态用地, 作为生态安全格局的战略节点, 实现生态源地辐射覆盖率达到85%; 其次, 应加大对重点建设廊道沿线的生态绿化建设, 提升源地间的连通度, 改善生境质量; 最终, 在雄安新区形成以生态源地为绿心、蓝绿生态廊道串联的生态宜居城市发展格局。

本文通过构建雄安新区生态安全格局, 进而提出生态空间优化策略, 对建设雄安新区绿色生态宜居新城具有重要参考意义。但是, 受数据获取和模型精度的限制, 本文仅选取了5类主要的生态系统服务识别生态源地; 依托更详细的地理空间数据, 更为细致的雄安新区生态安全空间保障方案有待深入探讨。此外, 本文基于雄安三县的行政边界开展空间分析, 而考虑到生态基底的连续性和物质、能量的空间流动性, 区域生态安全分析结果会受到研究区外围地区地理、生态要素的影响; 在更大的地域空间范围内, 新区生态要素与周边区域土地利用和城市空间扩展的关系值得进一步重点关注。

参考文献(References)

- [1] Kuang Wenhui, Yang Tianrong, Yan Fengqin. Regional urban land-cover characteristics and ecological regulation during the construction of Xiong'an New District, Hebei Province, China. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(6): 947-959. [匡文慧, 杨天荣, 颜凤芹. 河北雄安新区建设的区域地表本底特征与生态管控. *地理学报*, 2017, 72(6): 947-959.]
- [2] Yang Tianrong, Kuang Wenhui, Liu Weidong, et al. Optimizing the layout of eco-spatial structure in Guanzhong urban agglomeration based on the ecological security pattern. *Geographical Research*, 2017, 36(3): 441-452. [杨天荣, 匡文慧, 刘卫东, 等. 基于生态安全格局的关中城市群生态空间结构优化布局. *地理研究*, 2017, 36(3): 441-452.]
- [3] Li Yangfan, Lin Jingyu, Sun Xiang. An early warning method on ecological risk and its application to improve landscape ecological security pattern regulation. *Geographical Research*, 2017, 36(3): 485-494. [李杨帆, 林静玉, 孙翔. 城市区域生态风险预警方法及其在景观生态安全格局调控中的应用. *地理研究*, 2017, 36(3): 485-494.]
- [4] Wen Ya, Gong Jianzhou, Hu Yingen, et al. Simulation and analysis of urban land expansion conducted by ecological security. *Geographical Research*, 2017, 36(3): 518-528. [文雅, 龚建周, 胡银根, 等. 基于生态安全导向的城市空间扩展模拟与分析. *地理研究*, 2017, 36(3): 518-528.]
- [5] Yu Kongjian, Wang Sisi, Li Dihua, et al. The function of ecological security patterns as an urban growth framework in Beijing. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(3): 1189-1204. [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. *生态学报*, 2009, 29(3): 1189-1204.]
- [6] Sun Honglie, Zheng Du, Yao Tandong, et al. Protection and construction of the national ecological security shelter zone

- on Tibetan Plateau. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(1): 3-12. [孙鸿烈, 郑度, 姚檀栋, 等. 青藏高原国家生态安全屏障保护与建设. *地理学报*, 2012, 67(1): 3-12.]
- [7] Peng Jian, Zhao Huijuan, Liu Yanxu, et al. Research progress and prospect on regional ecological security pattern construction. *Geographical Research*, 2017, 36(3): 407-419. [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. *地理研究*, 2017, 36(3): 407-419.]
- [8] Chen Xin, Peng Jian, Liu Yanxu, et al. Constructing ecological security patterns in Yunfu city based on the framework of importance-sensitivity-connectivity. *Geographical Research*, 2017, 36(3): 471-484. [陈昕, 彭建, 刘焱序, 等. 基于“重要性—敏感性—连通性”框架的云浮市生态安全格局构建. *地理研究*, 2017, 36(3): 471-484.]
- [9] Peng Jian, Guo Xiaonan, Hu Yina, et al. Constructing ecological security patterns in mountain areas based on geological disaster sensitivity: A case study in Yuxi City, Yunnan Province, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, 28(2): 627-635. [彭建, 郭小楠, 胡熠娜, 等. 基于地质灾害敏感性的山地生态安全格局构建: 以云南省玉溪市为例. *应用生态学报*, 2017, 28(2): 627-635.]
- [10] Wu Jiansheng, Zhang Liqing, Peng Jian, et al. The integrated recognition of the source area of the urban ecological security pattern in Shenzhen. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(13): 4125-4133. [吴健生, 张理卿, 彭建, 等. 深圳市景观生态安全格局源地综合识别. *生态学报*, 2013, 33(13): 4125-4133.]
- [11] Peng Jian, Wang An, Liu Yanxu, et al. Research progress and prospect on measuring urban ecological land demand. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(2): 333-346. [彭建, 汪安, 刘焱序, 等. 城市生态用地需求测算研究进展与展望. *地理学报*, 2015, 70(2): 333-346.]
- [12] Zhang L, Peng J, Liu Y, et al. Coupling ecosystem services supply and human ecological demand to identify landscape ecological security pattern: A case study in Beijing-Tianjin-Hebei region, China. *Urban Ecosystems*, 2017, 20: 701-714.
- [13] Jiang Luguang, Lv Peiyi, Feng Zhiming, et al. Land use patterns of the Xiongan New Area and comparison among potential choices of start zone. *Resources Science*, 2017, 39(6): 991-998. [姜鲁光, 吕佩忆, 封志明, 等. 雄安新区土地利用空间特征及起步区方案比选研究. *资源科学*, 2017, 39(6): 991-998.]
- [14] Jiang Bo, Chen Yuanyuan, Xiao Yang, et al. Evaluation of the economic value of final ecosystem services from the Baiyangdian wetland. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(8): 2497-2505. [江波, 陈媛媛, 肖洋, 等. 白洋淀湿地生态系统最终服务价值评估. *生态学报*, 2017, 37(8): 2497-2505.]
- [15] Bai Yang, Zheng Hua, Zhuang Changwei, et al. Ecosystem services valuation and its regulation in Baiyangdian basin: Based on InVEST model. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(3): 711-717. [白杨, 郑华, 庄长伟, 等. 白洋淀流域生态系统服务评估及其调控. *生态学报*, 2013, 33(3): 711-717.]
- [16] Wang Bei, Zhao Jun, Hu Xiufang. Spatial pattern analysis of ecosystem services based on InVEST in Heihe River Basin. *Chinese Journal of Ecology*, 2016, 35(10): 2783-2792. [王蓓, 赵军, 胡秀芳. 基于 InVEST 模型的黑河流域生态系统服务空间格局分析. *生态学杂志*, 2016, 35(10): 2783-2792.]
- [17] Zhang Keli, Peng Wenying, Yang Hongli. Soil erodibility and its estimation for agricultural soil in China. *Acta Pedologica Sinica*, 2007, 44(1): 7-13. [张科利, 彭文英, 杨红丽. 中国土壤可蚀性及其估算. *土壤学报*, 2007, 44(1): 7-13.]
- [18] Sun Chuanzhun, Zhen Lin, Wang Chao, et al. Biodiversity simulation of Poyang Lake wetlands by InVEST model under different scenarios. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2015, 24(7): 1119-1125. [孙传谆, 甄霖, 王超, 等. 基于 InVEST 模型的鄱阳湖湿地生物多样性情景分析. *长江流域资源与环境*, 2015, 24(7): 1119-1125.]
- [19] Li Xiaoran, Li Yangbing, Wang Yongyan, et al. Identification of ecological security patterns for county-level landscapes and function division of the Three Gorges Reservoir Area: A case in Fengjie. *Chinese Journal of Ecology*, 2015, 34(7): 1959-1967. [李潇然, 李阳兵, 王永艳, 等. 三峡库区县域景观生态安全格局识别与功能分区: 以奉节县为例. *生态学杂志*, 2015, 34(7): 1959-1967.]
- [20] Zhao Xiaoran, Shi Hanqing, Yang Pinglv, et al. Inversion algorithm of PM_{2.5} air quality based on nighttime light data from NPP-VIIRS. *Journal of Remote Sensing*, 2017, 21(2): 291-299. [赵笑然, 石汉青, 杨平吕, 等. NPP 卫星 VIIRS 微光资料反演夜间 PM_{2.5} 质量浓度. *遥感学报*, 2017, 21(2): 291-299.]
- [21] Deng Jinjie, Chen Liuxin, Yang Chengyun, et al. Significance evaluation of ecological corridor in a highly-urbanized areas: A case study of Shenzhen. *Geographical Research*, 2017, 36(3): 573-582. [邓金杰, 陈柳新, 杨成韞, 等. 高度城市化地区生态廊道重要性评价探索: 以深圳为例. *地理研究*, 2017, 36(3): 573-582.]
- [22] Wu Jiansheng, Yue Xinhuan, Qin Wei. The establishment of ecological security patterns based on the redistribution of ecosystem service value: A case study in the Liangjiang New Area, Chongqing. *Geographical Research*, 2017, 36(3): 429-440. [吴健生, 岳新欣, 秦维. 基于生态系统服务价值重构的生态安全格局构建: 以重庆两江新区为例. *地理研*

究, 2017, 36(3): 429-440.]

- [23] Xu Mei, Zhu Xiang, Liu Chunla. Early-warning of land ecological security in Hunan Province based on RBF. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(10): 1411-1422. [徐美, 朱翔, 刘春腊. 基于RBF的湖南省土地生态安全动态预警. *地理学报*, 2012, 67(10): 1411-1422.]

Identification and optimization of ecological security pattern in Xiong'an New Area

PENG Jian^{1,2}, LI Huilei¹, LIU Yanxu¹, HU Yi'na¹, YANG Yang²

(1. Ministry of Education Laboratory for Earth Surface Processes, College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China; 2. Key Laboratory for Environmental and Urban Sciences, School of Urban Planning and Design, Shenzhen Graduate School, Peking University, Shenzhen 518055, Guangdong, China)

Abstract: The establishment of Xiong'an New Area has far-reaching historical significance for adjusting and optimizing the urban layout and spatial structure of Beijing-Tianjin-Hebei region. Under the construction concept of ecological benchmark, the identification and optimization of ecological security pattern is the basic spatial approach to ensuring the ecological security and realizing sustainable development in Xiong'an New Area. Based on the ecological background characteristics of Xiongxian, Rongcheng and Anxin, this study quantified and mapped five ecosystem services, namely grain yield, water yield, soil conservation, habitat conservation and near water recreation, and identified the ecological sources. Using the VIIRS/DNB Nighttime Light data, ecological resistance surface based on land-use types assignment was modified. The minimum cumulative resistance model was used to identify the ecological corridors. Based on the current ecological security pattern, the optimization strategy of the ecological security pattern was discussed under the goal of green, ecological and livable city. The results showed that, ecological sources, which accounted for 41.88% of the total area and contained 14 major ecological patches, were mainly distributed in the areas surrounding the Baiyangdian Lake. The total length of ecological corridors was 107.21 km, which was divided into four groups with a circle distribution. The radiating area of existing ecological sources reached 70.6% of the total area. Therefore, it is necessary to build a new ecological source with a radiating area of 227 km² to meet the demand for 85% of radiating area of the ecological source. The ecological security pattern scheme proposed in this study can provide spatial guidance for the construction of green, ecological, and livable city in Xiong'an New Area.

Keywords: ecological security pattern optimization; ecological source; ecological corridor; ecosystem services; Xiong'an New Area