

基于InVEST模型的咸阳市生物多样性评价及生态廊道构建研究

Biodiversity Assessment and Ecological Corridor Construction in Xianyang City Based on InVEST Model

赵子馨 邱玲* 高天*
ZHAO Zixin QIU Ling* GAO Tian*

(西北农林科技大学风景园林艺术学院, 杨凌 712100)
(College of Landscape Architecture and Art, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi, China, 712100)

文章编号: 1000-0283(2024)04-0027-07
DOI: 10.12193/j.laing.2024.04.0027.004
中图分类号: TU986
文献标志码: A
收稿日期: 2023-12-08
修回日期: 2024-02-01

摘要

在快速城镇化进程以及不合理的资源利用背景下,咸阳市的生态环境受到影响。为最大限度地保护生物资源,巩固咸阳生态安全格局,使用InVEST生境质量评估模型,结合NPP法,将咸阳市生境划分为优、良、中、差4个等级,从而研究土地利用变化对生境质量的影响;将咸阳市生物多样性维护等级分为极重要、重要、一般重要三个等级,从而评价咸阳地区的生物多样性维护重要性。综合生境质量评估结果与生物多样性维护等级,利用最小阻力模型构建生态廊道。结果表明:2000–2020年咸阳地区耕地面积减少了327.33 km²;建设用地面积增长了263.88 km²;林地、草地等生态用地呈现了先增长后减少的趋势。质量优等级的生境持续减少了60.56 km²,差等级的生境整体增加70.93 km²,生境质量出现退化。咸阳市生物多样性维护重要性以一般重要为主,极重要区和重要区面积分别为896.54 km²和866.66 km²。生物多样性与生境质量密切相关。基于评价结果,通过阻力模型,构建生态廊道1 303.96 km,并提出咸阳市生物多样性保护的方法和优化对策,以期为今后咸阳市动物迁徙及生物多样性保护提供基础与保障。

关键词

生物多样性保护;生境质量评估;土地利用变化;生态廊道构建;优化策略

Abstract

Due to the rapid urbanization and unreasonable utilization of resources, the ecological environment of Xianyang City has been affected. To maximize the protection of biological resources and consolidate the ecological security pattern of Xianyang city, this paper used the InVEST habitat quality assessment model and NPP method to divide the habitats of Xianyang city into four grades: excellent, good, medium, and poor, to study the impact of land use change on habitat quality. To evaluate the importance of biodiversity conservation in Xianyang, biodiversity conservation was divided into three levels: very important, meaningful, and generally necessary. Based on the habitat quality assessment and biodiversity maintenance level results, the ecological corridor was constructed using the minimum resistance model. The results showed that the cultivated land area of Xianyang decreased by 327.33 km² from 2000 to 2020. Construction land area increased by 263.88 km². The ecological land, such as forest land and grassland, showed a trend of increasing and decreasing. The habitat of high-quality grade continued to decline by 60.56 km², and the poor-quality habitat increased by 70.93 km². The importance of biodiversity conservation in Xianyang City is mainly of general importance, and the critical and essential areas are 896.54 km² and 866.66 km², respectively. Biodiversity is closely related to habitat quality. Therefore, based on the evaluation results, a 1 303.96 km ecological corridor was constructed through the resistance model, and methods and optimization countermeasures for biodiversity conservation in Xianyang City were proposed to provide the basis and guarantee for animal migration and biodiversity conservation in Xianyang City in the future.

Keywords

biodiversity conservation; habitat quality assessment; land use change; ecological corridor construction; optimization strategy

赵子馨

1995年生/女/陕西咸阳人/在读博士研究生/研究方向为城乡绿地碳汇与生物多样性保护

邱玲

1981年生/女/陕西西安人/博士/教授/研究方向为城乡生物多样性保护与规划、基于景观与认知偏好视角的园林规划与设计、康养景观设计

高天

1982年生/男/陕西西安人/博士/教授/院长/研究方向为生物多样性定向的风景园林规划设计、不同空间尺度下植被滞尘设计、康养景观营造

*通信作者 (Author for correspondence)

E-mail: qiu.ling@nwsuaf.edu.cn; tian.gao@nwsuaf.edu.cn

基金项目:

国家自然科学基金面上项目“基于实践应用目的的城市绿地景观削减空气颗粒物浓度研究”(编号: 31971722); 陕西林业科技创新重点专项项目“陕西关中地区强碳汇草地营建关键技术研究”(编号: SXLK2023-02-18); 陕西省林业科学院科技创新计划专项项目“基于生境制图的秦岭生物多样性保护体系构建”(编号: SXLK2021-0216)

随着城市建设用地的迅速扩张和人口的快速增长, 人类活动对生态系统功能与生物多样性水平的破坏日益加剧, 如何维持并提升区域生物流的稳定性及生物多样性成为日益关注的焦点问题。

生态廊道作为构建城市整体性生态格局的重要因素, 能够有效串联起较为孤立分散的生态节点和生态斑块, 为维持区域生物流提供重要支持^[1]。通过以森林为主体、山水林田湖草一体化的生态廊道网络体系的建设, 有助于提升城市的生态结构完整度及内部分联性, 强化其生态稳定性和生物多样性。20世纪90年代以来, 众多国内外研究者致力于深入研究生态廊道的构建策略。金浩然^[2]以厦门市为例, 通过最小阻力模型构建网络, 重点关注基础生态保护区的空间调控难题; 陈剑阳等^[3]则针对环太湖地区, 采用最小费用路径分析潜在廊道, 并在此基础上叠加景观和游憩图谱网络, 形成了一种包含多种目标的多维度的综合生态网络。InVEST模型, 全称为生态系统服务和交易的综合评估模型(Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade-offs), 在区域生态系统功能的量化方面, 被国内外广泛用于高效评估区域或流域的生态系统服务及其价值变化状态。如Mansoor与Leha等在使用InVEST模型来估算有关流域的水资源产生量及其时间空间变迁模式后, 为流域生态系统优化管理提供了参考^[4-6]。Mengist等^[6]通过InVEST模型评估和模拟了喀法生物圈保护区的生境质量, 并且评价和预测LULC变化影响下生境质量的时空状态。Li等^[7]对使用InVEST模型测量的栖息地质量指数是否能够解释城市地区鸟类多样性的变化提出了疑问并且得出结论。李婷等^[8]通过InVEST模型相关功能模块, 在秦岭山地, 分析和评估生态系统服务及其变化。刘蓝月等^[9]基于InVEST模型

中的生境质量模块, 用生物多样性指标来估算武夷山市植被类型的范围及其退化情况, 并以此作为构建生态环境质量模型的基础。杜世勋等^[10]通过InVEST模型对山西省土地利用变化的生物多样性功能进行研究。包玉斌等^[11-12]通过InVEST模型的生物多样性模块, 对陕西省黄河流域和宁夏生物多样性保护优先区域进行评价。InVEST模型拥有将评估结果可视化, 预测未来发展趋势等优点, 但同时对于评估结果不确定性分析有待加强。以往研究将InVEST模型中的陆地生态系统模块与遥感技术相结合, 能够对生境质量进行评估与监测, 但目前该模型的研究区域主要集中在湿地、沿河水域等物种资源较为丰富的地区, 尺度大多以区县级为主, 鲜有城市以上的大尺度研究。

生物多样性构成了人类生存的基础, 是经济社会持续进步的根本, 同时也是保障生态和粮食安全的重要因素。位于渭河平原与黄土高原交界处的咸阳市, 是黄河二级支流、泾河的主要流域处地, 其地理位置对于维护中国“三区四带”生态安全结构具有重要作用, 并且其也处于实施黄河流域环境保护和经济发展策略的核心点上, 是陕西中西部重要的生态保育区^[13]。

文章使用InVEST生境质量模块, 对咸阳市生境等级进行评估, 采用NPP法结合净初级生产力、地形、降雨量、气温4个要素, 将咸阳市生物多样性维护等级高低进行划分。同时基于最小阻力模型, 构建咸阳地区生态廊道, 旨在为未来生物多样性保育工作提供理论支持和实际操作手段。

1 研究区域概况

1.1 气候环境

咸阳市位于陕西省关中平原中部, 全市

辖3个区、9个县, 代管2个县级市, 总面积10 196 km², 地理坐标为107° 38′ - 109° 10′ E, 34° 11′ - 35° 32′ N, 地势北高南低, 呈阶梯状, 海拔362 ~ 1 885.3 m, 属黄土高原, 平原地貌。年降水量为537 ~ 650 mm, 平均温度9.0 ~ 13.2℃。热量条件南北差异明显, 四季分明, 气候宜人, 光、热、水资源丰富, 为野生动植物的生长创造了良好的环境。

1.2 生物资源

咸阳市境内拥有丰富的植物与动物资源, 辽东栎(*Quercus wutaishanica*)、山杨(*Populus davidiana*)、白桦(*Betula platyphylla*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)等是咸阳地区的主要树种。此外, 咸阳地区还富含药用植物资源。野生动物方面则包括140余种鸟类、40种左右的兽类, 涵盖了14个目和30个科。其中现有国家一级重点保护动物6种, 国家二级重点保护动物14种, 陕西省重点保护动物16种。两栖类动物常见的有黑斑蛙、林蛙等; 爬行类有无蹼壁虎、黄纹石龙子、北方草蜥等; 蛇类有黄脊游蛇、虎斑游蛇等, 其种类和数量皆不多。咸阳市南部为渭河盆地, 地势平坦, 自然植被分布较少, 农耕历史较为悠久; 中部残留较少天然次生林, 大部分地区已被人工植树所替代; 咸阳北部保留一定面积的天然次生林, 森林覆盖面积较高^[14]。其河流水体资源、开阔的河滩, 以及湿地灌木草本植被也为野生动物提供了良好的栖息环境, 特别是鸟类多样性尤为丰富, 是关中平原地区候鸟迁徙线上的栖息地。

但近年来随着土地利用的变更、工农业的不断发展、矿产资源的开采、城市的迅速扩张, 导致野生动物及其栖息地环境不断恶化, 城市内外绿地呈现出破碎化的趋势, 生态环境脆弱问题突出。近年来, 咸阳市空气

质量在全国排名持续靠后,为有效治理环境问题,将森林、草地、湿地等重要生态功能区串联,合理规划,构建生态廊道,巩固和提升生物多样性成为咸阳市城市建设的重点任务。

2 研究方法

2.1 数据来源

2.1.1 土地利用数据

数据来源于Landsat TM影像(数据来源于地理空间数据云),分别选取2000年、2010年、2020年三个时期变化节点,数据分辨率为30 m×30 m,影像通过大气校正、几何校正和正射校正,生成标准影像,并以分辨率不低于30 m的DEM及高精度参考影像库,高精度控制点和野外高精度GPS点为辅助数据,利用ENVI、ERDSA等软件进行监督分类,并利用复查的地面验证点进行验证,输出分类图像。基于上述数据处理,将咸阳市内的土地根据一级分类分为林地、草地、水域、耕地、建设用地与未利用地。

2.1.2 野生动植物数据

野生动植物数据参考《咸阳市野生动物调查报告》,咸阳市渭河流域段两岸绿化带绿化建设情况,结合各区县以及各自然保护区陆生野生动物资源调查报告获取。

2.2 生境评估

本研究使用InVEST模型中的生境质量模块,可视化显示结果,综合研究探讨咸阳区生态系统优劣程度。

InVEST-Habitat Quality模块,为了对生物多样性保护的效果进行科学的评估,本研究采用各类生态系统的敏感性和所受胁迫程度作为评估指标,并对这些指标进行量化处理,以

得出具体的评估结果。生境质量的计算见公式(1)。

$$Q_{xj} = H_j \left(1 - \left(\frac{D_{xj}^z}{D_{xj}^z + k^z} \right) \right) \quad (1)$$

式中, Q_{xj} 代表生境质量指数; D_{xj} 代表土地覆盖类型中栅格生境退化程度; k 为半饱和常数,通常取 D_{xj} 最大值的一半; H_j 为土地覆盖类型的生境适宜性;归一化常量 z 通常取25。 D_{xj} 的计算见公式(2)。

$$D_{xj} = \sum_{r=1}^R \sum_{y=1}^{Y_r} \left(\frac{W_r}{\sum_{r=1}^R W_r} \right) r_y i_{rxy} \beta_x S_{jr} \quad (2)$$

式中, R 为威胁因子; y 为威胁因子 r 栅格图层的栅格数; Y_r 为威胁因子所占的栅格单元总数; W_r 为威胁因子的权重,取值范围为0~1; r_y 为栅格的威胁因子(0或1); i_{rxy} 为栅格 y 的威胁因子值 r_y 对生境栅格 x 的威胁水平; β_x 为栅格的可达性水平,取0~1; S_{jr} 为生境类型对威胁因子的敏感度。其中, i_{rxy} 的计算见公式(3)。式中, d_{xy} 为栅格与栅格之间的直线距离; d_{rmax} 为胁迫因子 r 的最大影响距离。

$$i_{rxy} = 1 - (d_{xy} / d_{rmax}) \quad (3)$$

2.3 生物多样性维护等级评价

生物多样性维护功能是生态系统提供的最主要的功能之一,本研究综合净初级生产力、地形、降雨量、气温4个单要素,从生态系统角度,采用NPP法,评价生物多样性维护重要性等级^[15]。

2.4 生态廊道构建

咸阳市域生态源地识别采用综合方法,其具体识别步骤如下:(1)基于咸阳市土地利用现状图进行MSPA分析,生态安全评价,综合识别市域范围内的生态源地,包括面积

较大的林地斑块、水库及湿地公园、渭河及其沿岸绿带等,结合咸阳市湿地规划、绿地系统规划等得到咸阳市域生态源地。(2)综合生态干扰评价、土地利用现状以及植被覆盖度指数分析,构建生态阻力面,基于ArcGIS软件的Linkage mapper toolbox模块,进行定量表征与模拟研究区潜在的生物物种迁移扩散廊道,得到市域生态网络原始方案。(3)结合用地现状及绿地系统规划、绿道规划、湿地规划等内容进行生态廊道筛选与优化,得到最终市域生态网络规划方案。

在关中地区,白琵鹭、野兔等野生动物为咸阳地区较为常见的生物物种,是在咸阳地区生活、繁衍、栖息、迁移的代表,能够反映区域动物活动的特征,白琵鹭作为国家二级重点保护野生动物更具有代表性。所以,本研究选择了指示物种白琵鹭作为参照,为构建一个合理的消费面模型,挑选了相应的阻力变量因子。基于这些因子在物种迁移过程中所起到的阻力大小,为每个因子赋予不同的阻力值。为了确保模型的准确性,采用专家打分法来确定每个因子的权重。最后,将这些权重值与相应的阻力值相叠加,构建出消费面模型。该模型可以更好地反映出白琵鹭在迁移过程中所面临的阻力情况,再利用Linkage Mapper工具生成潜在生态廊道,最后叠加现有的干渠廊道形成优化后的生态廊道(图1)。

2.5 InVEST生物多样性模型数据采集

通常来说,自然环境对外部威胁因素的反应最为敏感,其次是半人工环境。相比之下,人造环境对于外部生态威胁因子的反应较弱甚至完全无影响。本研究综合考虑耕地、建设用地、未利用地三项威胁因子,威胁因子的强度和生态系统敏感性赋值结合

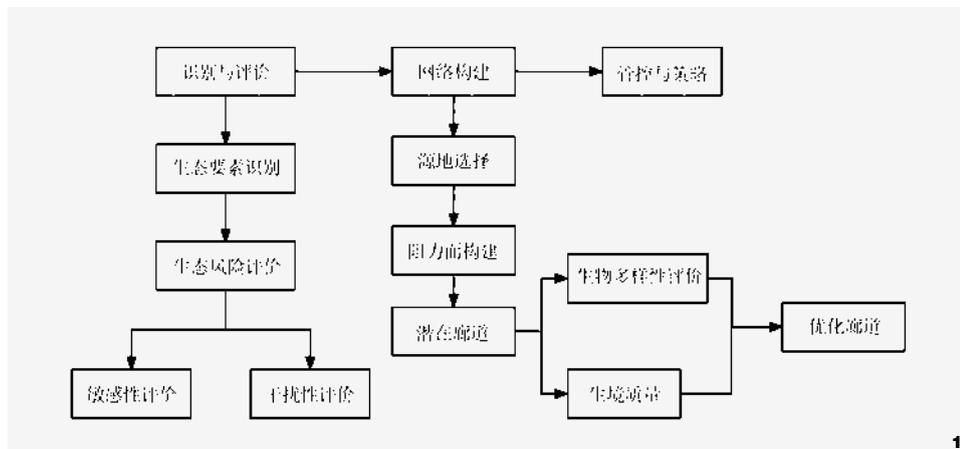


图1 生态廊道构建与评价流程图
Fig. 1 Ecological corridor construction and evaluation flow char

研究区实际情况及前人研究结果^[12,15-19]进行设置,表中相关数值与图层保持一致(表1,表2)。

3 结果与分析

3.1 咸阳市土地利用及其转移变化

从咸阳市2000年、2010年、2020年三期土地利用类型变化数据显示,咸阳市耕地

面积与建设面积变化最为显著,2000-2020年,林地与草地面积都出现了先增加后减少的现象。

2000-2010年,耕地面积减少195.67 km²,林地、草地、水域、建设用地、未利用地面积分别增加了2.26 km²、45.3 km²、15.33 km²、132.18 km²、0.6 km²,耕地面积主要向建设用地与林地转化。在近10年期间,退耕还林还

草政策的推进颇见成效,但城市化的扩张速度仍然较快。

2010-2020年,耕地面积减少131.66 km²,主要转化为建设用地;林地、草地面积分别减少2.38 km²、3.85 km²,主要转化为未利用地与水域。近10年来,建设用地共增加了131.62 km²,生态用地整体变化较小。

2000-2020年,近20年来,建设用地面积变化幅度较大,共增长了263.8 km²,森林面积在2000-2010年增长,在2010-2020年间呈下降趋势,共缩减了0.12 km²,未利用土地面积增长5.55 km²。水域面积呈现了持续增加的趋势,表明对湿地的保护逐渐被重视。整体来看,咸阳市生态用地变化幅度较小,主要变化来自于耕地向建设用地的转化。

3.2 生境质量评价

使用InVEST模型中的生境评估模型计算获得生境质量指数(0~1),指数越接近1,表明该生境质量越优秀。为了更好地比较土地使用变化对生态环境质量的影响,将生境质量指数运算结果划分为差(0~0.2)、中(0.3~0.4)、良(0.5~0.6)、优(0.7~0.9)4类^[16],按照10年等时段分析可得2000年、2010年、2020年三个时期咸阳市生境质量空间分布情况(图2)。

2000-2010年咸阳市生境质量较差的面积有所增加,生境质量优等面积减少了18.98 km²,中等与良等面积分别增加了13.46 km²、9.18 km²。2010-2020年,咸阳市生境质量优等级面积减少的幅度较大,为41.61 km²,差等级生境面积仅增加了16.66 km²,中、良等级生境面积分别增加27.54 km²、17.31 km²。这表明,2000-2010年间,随着耕地面积的不断减少,建筑用地的快速增加,咸阳市优等级的生境面积也在缩小,建设用地的扩张对咸阳市生

表1 威胁因子参数表
Tab. 1 Threat factor parameter table

威胁因子 Threat	最大影响距离/km Max_dist	权重 Weight	衰减类型 Decay
耕地	4	0.8	线性
建设用地	12	1	指数
未使用地	6	0.3	指数

表2 土地利用类型对各威胁因子的敏感性
Tab. 2 Sensitivity of land use types to each threat factor

地类名称 Land name	生境适宜度 Habitat suitability	耕地 Cultivated land	建设用地 Construction land	未使用地 Unused
草地	0.8	0.2	1.0	0.2
林地	1	0.8	0.8	0.4
水域	0.7	0.1	0.7	0.3
耕地	0.5	0.6	1	0.4
建设用地	0	0.2	0	0
未利用地	0	0	0	0

境质量有着显著影响。但随着退耕还林还草政策的提出，草地面积的增加使咸阳地区生境质量中，良等面积也有增加；2010–2020年间，耕地面积减少，建设用地增长，林地、草地等生态用地面积变化较小，咸阳市优等面积大幅减少，中、良等级生境面积增长较快。

2000–2020年间，总体上南部生境质量退化远高于北部区域，占比约为全域面积的33%，退化区域集中在城镇集中建设区。在南部地区中，渭河沿线生境有较明显的提升，这表明咸阳市渭河廊道林带建设和水环境修复对于周边生态系统功能提升与生物多样性改善效果明显；北部生境质量有显著改善，这表明随着对生态保护的重视不断增强，近20年来咸阳市集中力量不断强化重要生态源地的保护，陆续开展的自然保护区建设、森林公园建设、三北防护林带建设、退耕还林还草、小流域综合治理、创建“国家园林城市”“国家森林城市”等工作对生物多样性保护呈明显正相关关系，生态网络格局基本形成；中部生境质量变化不明显，这仍与矿产资源开发与脆弱的“旱腰带”自然本底高度关联，困难立地仍旧是咸阳市生态系统功能提升的攻坚环节。

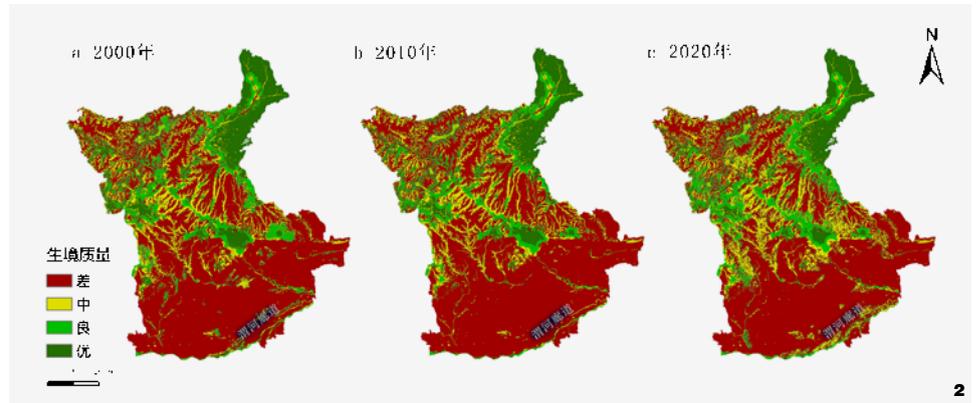


图2 研究区域生境质量变化
Fig. 2 Change of habitat quality in the research area

3.3 生物多样性维护等级

咸阳市生物多样性维护重要性以一般重要为主，极重要区和重要区面积分别为896.54 km²、866.66 km²，占比为8.80%、8.50%，极重要区主要分布在咸阳市旬邑县的东北部、彬州市西部以及永寿县的西北部，以植被覆盖情况较优的林地为主。对此可以看出，生物多样性与生境质量息息相关，生境质量好的地区其生物多样性状况更好，同时可以看出，生物多样性与人类活动的频繁度呈负相关，人口活动密集，城市化进程加快，工业建设和道路建设不断扩张，对生境质量产生负面的影响。

近年来随着生态文明建设的高度重视，咸阳地区对生物多样性的保护有所提高(图3)。

3.4 生态网络构建

经模型构建，全域共包含10个生态源地、多条生态廊道、30个关键点(pinch point)、21个障碍点(barrier)。生态廊道与生态源地大致构成一个环形闭合区域，加上多个关键生态节点，能够有效促进生物物种的迁徙和物质能量之间的交流(图4)。

咸阳市北部地区拥有集中的生态源地和较大的面积，其中的翠屏山、马栏山、石门山

表3 咸阳市土地利用变化
Tab. 3 Land use transfer in Xi'an

I 级 Level I	2000年		2010年		2020年		增 (+) / 减 (-) Increase (+) / Decrease (-)			
							2000–2010年		2010–2020年	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积变化/km ²	变化率/%	面积变化/km ²	变化率/%
林地	1 118.98	10.97	1 121.24	10.99	1 118.86	10.97	2.26	0.02	-2.38	-0.02
草地	2 104.71	20.64	2 150.01	21.08	2 146.16	21.05	45.3	0.44	-3.85	-0.03
水域	108.36	1.06	123.69	1.21	125.01	1.23	15.33	0.15	1.32	0.02
耕地	6 287.45	61.66	6 091.78	59.74	5 960.12	58.45	-195.67	-1.92	-131.66	-1.29
建设用地	576.71	5.66	708.89	6.95	840.51	8.24	132.18	1.29	131.62	1.29
未利用	0.14	0.01	0.74	0.03	5.69	0.06	0.6	0.02	4.95	0.03
合计	10 196.35	100	10 196.35	100	10 196.35	100	0	0	0	0

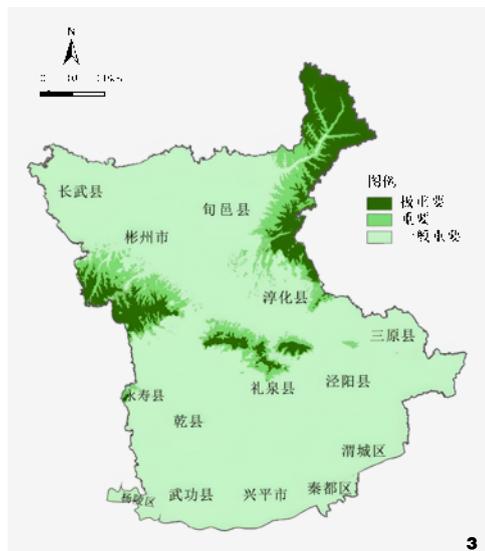


图3 研究区域生物多样性评价
Fig. 3 Biodiversity evaluation of the research area

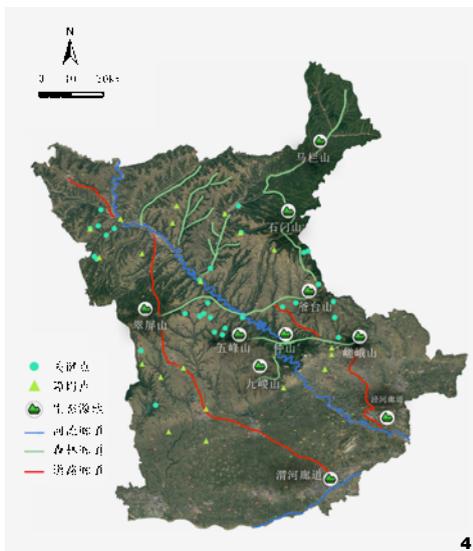


图4 生态廊道分布
Fig. 4 Ecological corridor distribution

和爷台山一带更是重点生态源地。这片区域属于子午岭—黄龙山生物多样性优先保护区,对生物的栖息和迁徙具有重大意义,因此应当被列为生态保育区,实施严格的管控措施。

中部地区的生态源地虽然也有一定的数量,但重点生态源地如仲山、九峻山、嵯峨山、五峰山等地,存在源地面积较小且分布较为分散的问题,这导致了景观的连通性较差,不利于生物的迁徙与栖息。对于这种情况,应进行优化处理,增加生态用地的比例,并提高生态过程的连续性。

至于南部地区,主要是中心城区,大部分土地被用于建设或作为耕地使用。这里的重点保育对象是渭河及其沿线的滩涂。在实施生态网络管控时,必须同时考虑到城市发展的实际需求。

以廊道连接重要的生态源地,构建“多层次、成网络、功能复合”的生态网络体系,同叶脉一样散落在整个市域,骨架型生态廊道总长度1 303.96 km,模型分析可得,规划

廊道根据组成内容和生态系统类型可划分为河流廊道、森林廊道、道路廊道三个基本类型,重点生态廊道有渭河廊道、泾河廊道以及北部沟壑上的连续林带。

4 基于生态廊道构建的咸阳市生物多样性保护策略

4.1 严控生态保护红线

在国土空间规划过程全面考虑并科学划定生态保护红线。根据相关要求对自然保护地进行优化和整合,加强对廊道沿线的生态保护红线管控,禁止一切开发性和生产性建设活动,逐步实施退耕还林还草,加快推进违法侵占廊道用地的调出工作。此外,强化对重点区域的保护监管,并严格落实重点生态功能区生物多样性保护和管控政策,稳步落实生物多样性保护工作。

4.2 构建区域生态网络

强化市区生态廊道与区域生态网络的衔

接,为生物远距离迁徙活动提供连续的生态空间和休憩场所;加快市区线性绿地景观人工修复,完善城市绿道体系,构成连续的城市蓝绿网;加快推进综合公园—社区公园—游园—口袋公园4级公园体系形成,形成市区源地斑块。通过绿色廊道建设将栖息地之间连接,促进生物物种的迁徙和交流,有效降低物种濒危和灭绝的几率。

4.3 生态缓冲区建设

渭河,泾河廊道侧堤坡脚外200 m内,禁止建设任何可能产生污染的项目,同时要严格控制各类开发建设活动的空间范围和规模,确保其对环境的影响最小化。打造林相丰富的密林斑块,补植鸟嗜好物种,同时清理老化与病虫害严重的植株,部分节点增加色叶、开花乔木,打造乔灌木复合群落,吸引更多种类林鸟;形成健康城市韧性基底,加强城市河、渠水网吸纳降雨能力,采取小微湿地、下沉湿地、植草沟、生物浮床等低影响开发;亲水平台、园路、绿道、广场、停车场等铺装要求透水环保材质,考虑人们在休闲活动的同时,减少对生态系统循环的阻隔与干扰。

4.4 城市环境修复

加强外来物种管理,开展动植物普查、检测等,加大城区内珍稀、濒危、特有生物资源的调查;在城市河流段以自然方式设计生态绿岛,植物以水生植物为主,辅以耐湿乔灌木,果实草籽为佳;丰富水底生物群落,丰富水底沉水植物、水藻等,有效修复水域生态功能。

5 结论

2000—2020年,咸阳市耕地面积减少327.33 km²,建设用地面积增加263.8 km²,生

态用地变化幅度出现了先增加后减少的情况。研究区域生境等级为优等级的区域面积持续减少，差等级的面积呈现了持续增加的趋势，但增加速度逐渐变缓。生境质量优等级地区与生物多样性维护等级极重要区重叠，生境质量越好，生物多样性维护重要性越高。根据生境质量评估结果和生物多样性维护重要性，利用最小阻力模型构建了能够连接各个生态源地的生态廊道，共长1 303.96 km，有利于将破碎化的生境联系起来，以期对该地区动物的迁徙与生物多样性保护提供有力保障。

注：文中图表均由作者绘制。

参考文献

- [1] 申文浩. 新时代国土空间规划背景下生态廊道建设规划实践探索——以合肥市江淮运河生态廊道为例[J]. 安徽建筑, 2023, 30(11): 31-34.
- [2] 金浩然. 基于生态网络规划的厦门市基本生态控制区空间管控研究[D]. 天津: 天津大学, 2018.
- [3] 陈剑阳, 尹海伟, 孔繁花. 等. 环太湖复合型生态网络构建[J]. 生态学报, 2015, 35(09): 3113-3123.
- [4] MANSOOR D K L, MARTY D M, ERICC C, et al. Quantifying and Mapping Multiple Ecosystem Services Change in West Africa[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2013, 165: 6-18.
- [5] NELSON E, MENDOZA G, REGET Z J. Modeling Multiple Ecosystem Services, Biodiversity Conservation, Commodity Production, and Tradeoffs at Landscapescales[J]. Front Ecol Environ, 2009, 7(1): 4-11.
- [6] MENGIST W, SOROMESSA T, FEYISA GL. Landscape Change Effects on Habitat Quality in a Forest Biosphere Reserve: Implications for the Conservation of Native Habitats[J]. Journal of Cleaner Production, 2021: 329.
- [7] LI D H, SUN W, XIA F, et al. Can Habitat Quality Index Measured Using the InVEST Model Explain Variations in Bird Diversity in an Urban Area?[J]. Sustainability, 2021, 13(10): 5747.
- [8] 李婷, 刘康, 胡胜. 等. 基于InVEST模型的秦岭山地土壤流失及土壤保持生态效益评价[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(9): 1242-1250.
- [9] 刘蓝月, 张鹏. 基于InVEST模型的武夷山市生境质量时空分析[J]. 国土与自然资源研究, 2024(01): 15-19.
- [10] 杜世勤, 荣月静. 基于InVEST模型山西省土地利用变化的生物多样性功能研究[J]. 环境与可持续发展, 2015, 40(06): 65-70.
- [11] 包玉斌, 刘康. 基于InVEST模型的土地利用变化对生境的影响——以陕西省黄河湿地自然保护区为例[J]. 干旱区研究, 2015, 32(3): 622-629.
- [12] 包玉斌. 基于InVEST模型的宁夏生物多样性保护优先区域生境评估与生态廊道构建[J]. 宁夏大学学报, 2022, 43(3): 318-324.
- [13] 国家发展改革委, 自然资源部. 全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划(2021-2035年)[EB/OL]. [2023-12-28]. <https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-06/12>
- [14] 咸阳市地方志编纂委员会. 咸阳市志[M]. 西安: 陕西人民出版社, 1996: 351-355.
- [15] 中国城市规划设计研究院. 咸阳市国土空间规划资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价专题研究[R]. 北京: 中国城市规划设计研究院, 2020: 26-27.
- [16] 赵梦雨, 薛亮. 咸阳市生境质量变化遥感监测研究[J]. 遥感技术与应用, 2017, 32(6): 1171-1180.
- [17] 黄木易, 岳文泽, 冯少茹. 等. 基于InVEST模型的皖西大别山区生境质量时空演化及景观格局分析[J]. 生态学报, 2020, 40(9): 2895-2906.
- [18] 刘志伟. 基于InVEST的湿地景观格局变化生态响应分析[D]. 杭州: 浙江大学, 2014.
- [19] 潘卫涛, 岳邦瑞, 姚龙杰. 等. 耦合风险与服务的区域生态安全格局构建——以陕西省咸阳市为例[J]. 应用生态学报, 2023, 34(01): 178-186.

2024年《园林》学刊专题征稿

为紧贴时代脉搏，突显时代主题，集中展示中国风景园林标志事件和新时代重大规划，同时本着开放办刊、专题提前策划的工作方针，2024年《园林》学刊拟选推出如下专题（所列专题顺序，不作为最终发刊专题顺序）：

- (1) 风景园林的文化认知与传递；(2) 自然教育与城乡公共空间；(3) 水生态修复与设计；(4) 大学校园恢复性环境；(5) 都市圈蓝绿空间与保护地；(6) 文化景观保护与可持续发展；(7) 可持续城市与社区景观；(8) 地域性景观可持续规划设计；(9) 景观设计理论与批评；(10) 城市土壤生态系统服务。

专题文章采用学术主持人组稿与作者自由来稿相结合的方式。稿件具体要求可关注“园林杂志”公众号。

本年度特别推出：

人工智能正成为新一轮科技革命与产业变革的重要驱动力，全行业领域均面临如何融合应用智能技术的关键之问，由此，《园林》学刊特征集“智慧园林与信息化技术”方面的投稿，此类稿件编辑部将优先审读和出版。

投稿系统：<https://www.gardenmagazine.cn>；编辑部邮箱：LA899@vip.163.com。稿件自发稿之日起3个月内未接到本编辑部任何通知，可自行处理。

请踊跃投稿！

