

# 自然资源整合视角下泰山区域生态网络构建研究\*

## Study on the Construction of Ecological Network of the Taishan Area Based on Natural Resources Integration

肖华斌 张慧莹 刘莹 况苑霖 XIAO Huabin, ZHANG Huiying, LIU Ying, KUANG Yuanlin

**摘要** 随着山水林田湖草生命共同体理念的提出,自然资源内涵从传统的空间系统扩展到生态系统,强调其内在的整体性、系统性、协同性和关联性。在厘清山水林田湖草自然要素之间内在关系和生态过程的基础上,以泰山区域山水林田湖草生命共同体为例,将区域生态修复工程与生态安全格局理论相结合,在地理信息系统(GIS)等空间分析技术支持下,构建了水源涵养、地质灾害防护、生物多样性保护以及综合生态安全格局。基于形态学空间格局分析法(MSPA),识别泰山区域潜在的重要生态廊道,构建了“一核三心一轴一带多节点”的泰山区域生态网络。

**Abstract** The concept of Mountain-River-Forest-Cropland-Lake-Meadow life community proposes to extend the connotation of natural resources from the traditional spatial system to ecosystem, emphasizing its inherent integrity, systematicness, synergy, and relevance. After clarifying the intrinsic relationships and ecological processes between the natural elements, this paper takes the life community in the Taishan area as an example, combining the regional ecological restoration project with the ecological security pattern theory. With the support of spatial analysis techniques such as the geographic information system (GIS), this paper aims to promote water conservation, geological disaster protection, biodiversity conservation, and construct an integrated ecological security pattern. Based on the Morphological Spatial Pattern Analysis (MSPA), this paper identifies the potential ecological corridors in the Taishan area, with an eco-network of “one core, three centers, one axis, one belt, and multiple nodes”.

**关键词** 山水林田湖草生命共同体;生态安全格局;生态网络;自然资源整合;泰山区域

**Key words** a shared life community of mountain-river-forest-land-lake-meadow; ecological security pattern; ecological network; natural resource integration; Taishan Area

文章编号 1673-8985 (2020) 01-0042-06 中图分类号 TU981 文献标志码 A

DOI 10.11982/j.supr.20200108

### 作者简介

#### 肖华斌

山东建筑大学建筑规学院  
副教授,博士,硕士生导师

#### 张慧莹

山东建筑大学建筑规学院  
硕士研究生

#### 刘莹

山东建筑大学建筑规学院  
硕士研究生

#### 况苑霖

山东建筑大学建筑规学院  
硕士研究生

2015年9月,中共中央、国务院印发《生态文明体制改革总体方案》,要求树立山水林田湖是一个生命共同体的理念,按照生态系统的整体性、系统性及其内在规律,统筹考虑自然生态各要素、山上山下、地上地下、陆地海洋以及流域上下游,进行整体保护、系统修复、综合治理,增强生态系统循环能力,维护

生态平衡。为贯彻落实开展山水林田湖草生态保护的部署要求,财政部、原国土资源部、原环境保护部联合印发了《关于推进山水林田湖生态保护修复工作的通知》,分三批次开展山水林田湖草生态保护修复工程试点。通过对山水林田湖草生命共同体实施生态保护修复工程,提升区域生态系统服务功能和整

\*基金项目:山东省自然科学基金“基于多源数据融合的城市绿色基础设施空间响应机理及规划技术逻辑”(编号ZR2019MEE048);西部绿色建筑国家重点实验室开放基金项目“西北地区城市新区低碳生态化空间规划技术研究”(编号LSKF202018)。

体环境质量。中共中央、国务院《关于建立国土空间规划体系并监督实施的若干意见》和《关于在国土空间规划中统筹划定落实三条控制线的指导意见》等相关文件的出台,标志着国土空间规划中以“双评价”为基础的底线管控和全域自然要素的统筹管理制度已经建立<sup>[1-2]</sup>。山水林田湖草生命共同体理念的提出,将空间规划中的自然资源内涵从传统的空间系统扩展到生态系统,并强调其内在的有机联系和相互作用。厘清自然资源内在联系和作用,就需要理解自然要素间物质循环、能量流动、信息传递的生态过程,才能确保山水林田湖草生态保护修复工程的顺利开展。如何在国土空间规划中,将山水林田湖草生态保护修复目标与全域全类型自然资源要素统筹管理相结合,推进落实生命共同体理念中的整体性、系统性、协同性和关联性的要求,是国土空间规划中面临的重要问题。

### 1 自然资源整合视角下区域生态网络构建途径

景观生态安全格局 (Security pattern, SP) 是20世纪90年代后期以景观生态学理论和方法为基础,基于景观过程和格局的关系,通过景观过程的分析和模拟,来判别对这些过程的健康与安全具有关键意义的景观格局。景观生态安全格局把景观过程 (包括区域水文循环、灾害过程扩散、物种空间运动以及城市蔓延扩张等) 作为通过克服空间阻力来实现景观控制和覆盖的过程。要有效地实现控制和覆盖,必须具有战略意义的关键性的景观元素、空间位置和联系。这种由关键性元素、战略位置和联系所形成的格局就是景观生态安全格局,对维护和控制生态过程或其他水平过程具有重要的意义<sup>[3-4]</sup>。同时,某些生态过程的景观安全格局也可有效控制突发性灾害,如洪水安全格局、地质灾害安全格局等。通过确定自然生态过程的一系列阈限和安全层次,提出维护与控制生态过程的关键性的时空量序格局。生态安全格局理论由

于其具有主动、空间联系和高效的生态战略优势,被广泛地应用于国土空间规划、绿色基础设施构建以及生态保护修复工程中<sup>[5-8]</sup>。目前识别景观生态安全格局比较成熟的方法是通过构建生态过程的最小阻力面 (Minimum cumulative resistance, MCR) 实现景观控制,分析景观斑块的分离程度并作为景观格局优化的依据。基于垂直过程的叠加分析方法和基于水平过程的空间分析方法构建生态安全格局,并采用形态学空间格局分析法 (Morphological spatial pattern analysis, MSPA) 识别潜在的生态廊道。MSPA是基于数学形态学原理对栅格图像进行度量、识别和分割的一种图像处理技术<sup>[9-10]</sup>。该方法强调研究内容的结构性连接,在进行生态源地与生态廊道的选取时,能够减少传统方法中依据面积较大、生态系统服务价值较高选取核心斑块的主观性判断,增加源地和生态廊道选取的科学性<sup>[11-13]</sup>。生态网络构建是保障生态过程、维护生态安全、提升生态系统服务的有效途径,生态网络为自然要素及生境斑块间生态过程的有效调控提供了重要的空间结构,构成系统、完整的生态空间格局,实现生态服务价值的提高和生物多样性的保护<sup>[14-15]</sup>。

在厘清山水林田湖草自然要素内在关系和生态过程的基础上,整合生态保护修复目标与生态保护红线划定途径,选取适宜的单元因子/要素进行水平过程空间分析,得到单元因子/要素生态安全格局,然后进行垂直叠加,获取综合生态安全格局。在此基础上,基于MSPAS识别潜在的重要生态廊道,构建山水林田湖草区域生态网络 (见图1)。

### 2 泰山区域山水林田湖草自然要素识别

泰山区域作为我国第二批山水林田湖草生态保护修复工程试点,其范围包括泰安市全域与济南市大部分区域,总面积约为13 500 km<sup>2</sup>,占山东省陆地面积约8.6%。地势中部高,南北低,中部为山区,南部和北部为丘陵、平原 (见图2)。泰山区域山水林田湖草生态保护修复工程根据修复任务不同分成了泰山生态

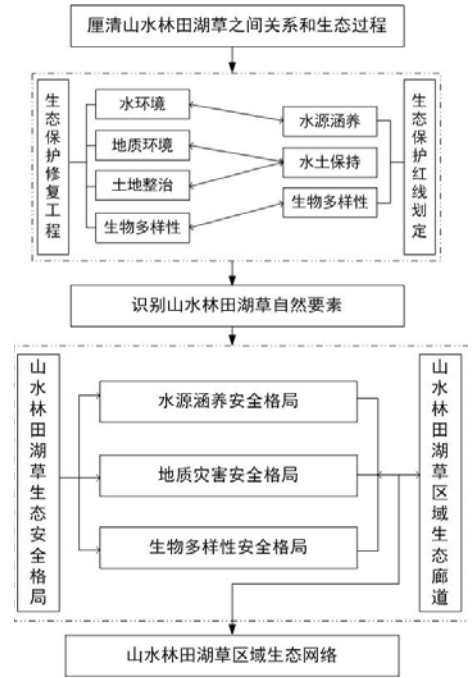


图1 自然资源整合视角下山水林田湖草区域生态网络构建途径  
资料来源:笔者自绘。

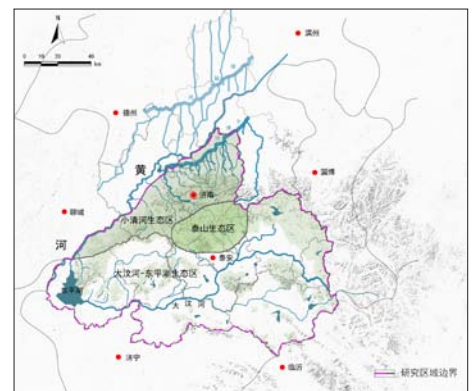


图2 泰山区域山水林田湖草生态保护修复工程区位图  
资料来源:笔者自绘。

区、大汶河—东平湖生态区、小清河生态区3个生态修复区域。通过遥感影像解译并结合土地利用现状 (数据主要来源于30 m×30 m的LANDSAT8遥感影像、30 m×30 m的DEM高程数据),可以得到泰山区域的山水林田湖草自然要素面积数量和空间分布 (见图3,表1)。

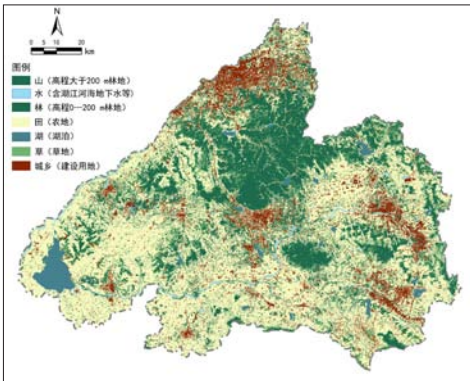
### 3 泰山区域生态安全格局构建

根据泰山区域生态保护修复目标和国土

表1 泰山区域山水林田湖草要素面积及分布情况表

要素	面积/km <sup>2</sup>	泰山生态区	大汶河—东平湖生态区	小清河生态
山	2 322.38	泰山主峰等	泰山西麓、莲花山、三平山等	五峰山等
水	277.83	约16条(石汶河、锦阳川、泮汶河、北大沙河等)	长5 km以上河流384条(大汶河、瀛汶河、柴汶河、泮汶河、羊流河等)	约60条(玉符河、锦阳川、锦云川、小清河、大涧沟等)
林	1 546.08	济南柳埠国家森林公园; 泰安(泰山国家森林公园、药乡国家森林公园)	泰安腊山国家森林公园、泰安牛山国家森林公园、莱芜华山国家森林公园等	济南林场等
田	5 987.27	零星分布在山体谷线建设用地周边	面积占比较大, 在区域内均匀分布	由山体谷线延伸至区域西侧及北侧
湖	89.00	黄前水库、安家林水库、大河水库、刘家庄水库等	东平湖、雪野水库、彭家峪水库等	卧虎山水库、锦绣川水库等
草	862.36	灌草从较多分布在泰山山体群林缘线	灌草从较多分布在徂徕山、莲花山等	灌草从较多分布在泰山

资料来源: 笔者自制。

图3 泰山区域山水林田湖草自然要素分布图  
资料来源: 笔者自绘。图4 泰山区域水源涵养安全格局  
资料来源: 笔者自绘。

空间规划中生态保护红线划定要求,以景观生态安全格局理论为指导,构建泰山区域水源涵养、地质灾害防护和生物多样性保护生态安全格局,通过空间叠加和运算构成泰山区域综合生态安全格局。

### 3.1 水源涵养安全格局

泰山区域中大汶河—东平湖生态区和小清河生态区的生态修复重点涉及水生态环境和泉域渗透带保护,水源涵养是提升水生态环境和保护泉域渗透带的关键因子。水源涵养安全格局是保障区域正常的生产、生活用水,并能维持区域水源涵养不被破坏、污染的关键格局。本文识别了泰山区域重要区域河湖水系、湿地分布、饮用水源区等的水资源要素以及洪泛平原、自然河流、湖泊及其沿岸湿地、滩涂等用地类型。基于ArcGIS对不同等级的水资源和湿地进行缓冲分析,构建不同安

全水平的水源涵养安全格局(见图4,表2)。

### 3.2 地质灾害防护安全格局

对地质灾害防护安全格局的分析,应首先建立在区域地质灾害敏感性分析基础上,叠加地震带、滑坡、滑塌、崩塌、地面沉降和地裂缝等多种地质灾害要素的空间分布,确定地质灾害源;然后通过对各地质灾害类型的诱因和灾害易发区内土地利用格局的分析,确定对地质灾害防护起关键作用的区域和空间联系<sup>[16]</sup>。地质灾害源的识别分析方法,就是通过区域生态环境特征及地质灾害形成机制的研究,确定影响地质灾害发生的主要因子的评价指标。泰山区域地质灾害因子主要包括地震带、滑坡、滑塌、崩塌、地面沉降和地裂缝等多种地质灾害要素。基于ArcGIS对高程和坡度的分级运算,得到地质灾害的敏感性分布,通过叠加各类地质灾害因子,识别地

质灾害源的空间分布(见图5,表3)。

### 3.3 生物多样性保护安全格局

生物多样性保护安全格局构建通常通过最小阻力模型为代表的水平生态过程分析模拟指示物种在空间运动中所需要克服的最小阻力,生物过程的安全格局一般由源(核心栖息地)、缓冲区(源周围的低阻力区域)、廊道和辐射道(连接多个源的阻力低通道)和战略点(对生物过程具有关键意义的节点)等景观元素构成。本文选取白鹳(Ciconia)和雕鸮(Bubo)作为指示物种,并依据指示物种的生境需求,确定源(见表4)。研究选取适宜白鹳栖息、繁殖的生境类型为源地(面积较大的水体及其200 m内的林地和草地),选择影响白鹳生存条件的土地利用类型为阻力因子,依据各类用地对白鹳运动的相对阻力大小,赋予相应的阻力值来构建阻力面。基于MCR模型,运用ArcGIS计算成本距离,模拟不同土地利用类型对白鹳从源地向外扩散过程中的阻力大小,构建白鹳保护安全格局。雕鸮在泰山区域为留鸟,宜采用适宜性分析法构建雕鸮保护安全格局。林地是鸮类主要的栖息地类型,根据其生活习性,选择海拔高于500 m的林地作为物种保护的核心斑块。雕鸮活动范围较广,土地利用类型对其影响较小,在源地周围划定适宜的缓冲区,构建雕鸮保护安全格局。对白鹳保护安全格局和雕鸮保护安全格局进行空间叠加,得到不同安全水

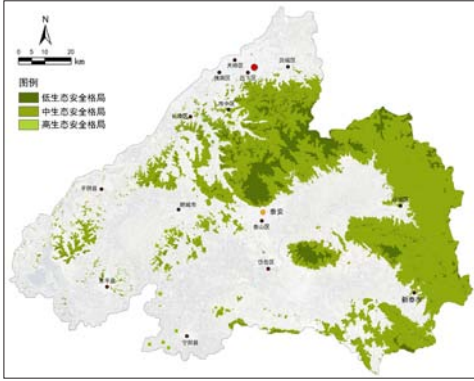


图5 泰山区域地质灾害防护安全格局  
资料来源:笔者自绘。

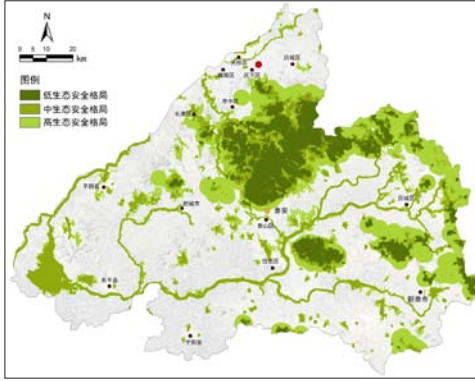


图6 泰山区域生物多样性保护安全格局  
资料来源:笔者自绘。

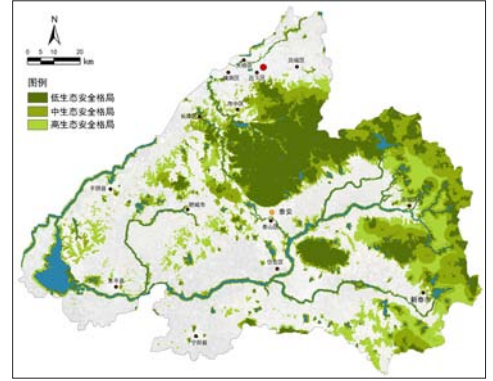


图7 泰山区域综合生态安全格局  
资料来源:笔者自绘。

平的泰山区域生物多样性保护安全格局(见图6)。

### 3.4 泰山区域综合生态安全格局

综合以上水源涵养安全格局、地质灾害防护安全格局和生物多样性保护安全格局,进行等权重空间叠加,得到不同安全水平的泰山区域综合生态安全格局。低安全格局是保障生态功能的最低要求,是建设用地不可突破的生态底线,是生态保护修复任务的重点区域;中安全格局是保障生态过程不受干扰的缓冲区域,是生态保护修复任务与生态工程建设相互协调的区域;高安全格局是各生态要素实现生态功能充分发挥的理想状态,是生态保护修复任务与人类活动紧密联系、相互协调的重要区域(见图7,表5)。

## 4 泰山区域生态网络构建

### 4.1 潜在重要生态廊道识别

#### 4.1.1 生态源地选取

形态学空间格局分析法应用的关键在于对生态要素与非生态要素的划分。本文将林地、草地、水体作为MSPA分析的前景要素(值为2),建设用地、耕地作为背景要素(值为1),利用GuidosToolbox 2.8分析软件将生态要素划分成7种景观类型:核心区(Core)、孤岛(Islet)、边缘(Edge)、穿孔(Perforation)、连接桥(Bridge)、环(Loop)、分支(Branch)(见图8)。根据岛屿生物地理

表2 水源涵养安全格局建构标准

安全格局等级	东平湖、大汶河等	其他干流、湖泊	支流、坑塘及沿岸湿地
低安全格局	200 m缓冲区	100 m缓冲区	60 m缓冲区
中安全格局	1 000 m缓冲区	低安全格局外500 m缓冲区	低安全格局外300 m缓冲区
高安全格局	1 500 m缓冲区	中安全格局外1 000 m缓冲区	中安全格局外800 m缓冲区

资料来源:笔者自制。

表3 地质灾害防护安全格局建构标准

安全等级	风险源		
	泥石流、滑坡、崩塌	断裂带	地面沉降
低安全格局	高程>500 m, 坡度>25°, 崩塌中心100 m	断裂带周围50 m	地面沉降中心地带, 累计沉降>1.5 m
中安全格局	高程>200 m, 坡度>15°, 崩塌中心400 m	断裂带周围100 m	地面沉降中心周围100 m, 累计沉降>1.0 m
高安全格局	崩塌中心800 m	断裂带周围300 m	地面沉降中心周围200 m, 累计沉降>0.3 m

资料来源:笔者自制。

表4 指示物种特征及生境条件

物种类型	保护等级	生境条件
白鹤	国家Ⅰ级保护动物	常在水边的湿地、滩涂觅食, 栖息地主要在有稀疏树木生长的林地、草地、农田边缘
雕鸮	国家Ⅱ级保护鸟类	主要栖息于中低山带的林地、草地中的树丛、灌木丛, 农田边缘林地

资料来源:笔者自制。

表5 不同安全水平的泰山区域生态安全格局面积及占比

安全格局等级	泰山生态区/ km <sup>2</sup>	大汶河—东平湖 生态区/km <sup>2</sup>	小清河生态区/ km <sup>2</sup>	泰山区域/ km <sup>2</sup>	占研究区域 面积比/%
低安全格局	777.03	1 504.93	506.91	2 788.87	20.66
中安全格局	907.45	2 927.83	872.48	4 707.76	34.87
高安全格局	939.96	4 206.70	1 162.04	6 308.70	46.73

资料来源:笔者自制。

学原理,在MSPA分析结果中,面积较大且景观连接度较高的核心区可作为物种栖息地,对生物多样性的保护具有重要意义。本文首先选取面积(S)≥3 km<sup>2</sup>的核心区为重要核

核心区<sup>[17]</sup>,共计80个;其次运用景观连通性分析软件Conefor Sensinode2.2计算80个重要核心区的景观连接度指数(PC),利用自然段点法将景观连接度指数分为8个重要程度等级;

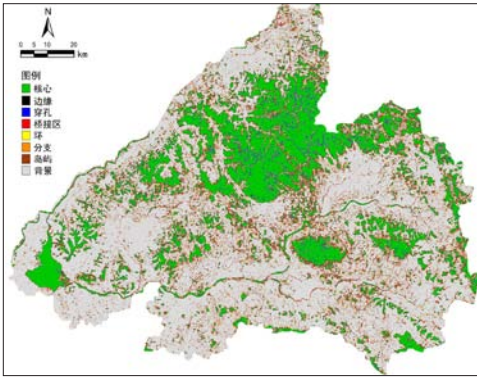


图8 泰山区域MSPA要素分析  
资料来源:笔者自绘。

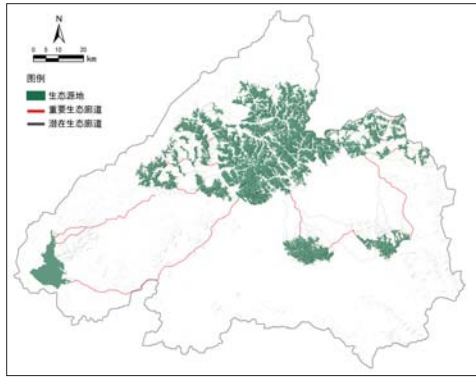


图9 泰山区域重要生态廊道识别  
资料来源:笔者自绘。



图10 泰山区域生态网络结构图  
资料来源:笔者自绘。

表6 生态阻力值及权重

阻力因子	分级指标	阻力值	权重
土地利用类型	水体	4.20	0.65
	林地	1.35	
	草地	1.98	
	耕地	2.46	
	建设用地	3.31	
高程	< 200 m	1.00	0.06
	200—500 m	3.00	
	500—1 000 m	5.00	
	1 000—1 200 m	7.00	
	> 1 200 m	9.00	
坡度	< 2°	1.00	0.29
	2°—8°	3.00	
	8°—20°	5.00	
	20°—30°	7.00	
	> 30°	9.00	

资料来源:笔者自制。

最后,按连接度重要程度由高到低排序,将前6个等级 ( $PC \geq 0.2$ ) 的重要核心区确定为最终的生态源地,共计34个。

#### 4.1.2 生态廊道提取与重要性分析

生态廊道的提取常用最小累积阻力模型计算源地与目标源地间的最小耗费距离来决定。生物在不同源地斑块间运动需要克服景观阻力,阻力面设置能够确定最小阻力路径。选取土地利用类型、高程、坡度3种阻力因子,对阻力因子进行权重赋值来构建阻力面(见表6)。采用ArcGIS的成本距离与成本路径来计算基于生态阻力面的源地与目标源地间的潜在生态廊道。重要生态廊道选取依据多个源地与目标源地重合的潜在生态廊道与MSPA分

析的具有廊道功能的桥接区、环、分支进行确定(见图8)。由于泰山斑块面积与生境质量较高,重要生态廊道在研究区域主要沿南北向分布于源地间的山林地、草地和耕地(见图9)。

#### 4.2 泰山区域生态网络构建

基于泰山区域的综合生态安全格局和MSPA识别的潜在生态廊道,规划泰山区域“一核三心,一轴一带多节点”的生态网络结构(见图10)。“一核”为以山、林为主的泰山生态核心区,是泰山区域规模最大、生态价值最高的生态空间,用以涵养水源、维持关键物种的生存等生态功能;“三心”分别为东平湖湿地生态绿心、徂徕山生态绿心和莲花山生态绿心,

东平湖是研究区域最大的湖泊,也是山东省第二大淡水湖,提供多种生态系统服务类型,但徂徕山和莲花山是研究区域面积较大、斑块较为完整的独立山体,生态要素类型多样,在区域中发挥着重要的生态功能;“一轴”是大汶河生态轴,东西向贯穿泰山区域南部,实现了生态斑块间信息流、能量流、物质流的東西向传递;“一带”是连接核心区之间生态过程的潜在生态廊道,基于核心区之间的山林地、河流、农田构建起生态联系;“多节点”是生态价值较核心区低、可作为生态过程踏脚石的一般核心区,能够加强研究区域生态网络结构间的联系。

## 5 结语

山水林田湖草生命共同体的核心就是从过去的单一要素保护修复转变为以多要素构成的生态系统服务功能提升为导向的保护修复。泰山区域是华北平原重要的生态屏障,本文从自然资源整合和自然演进的视角,探讨山水林田湖草生命共同体内在关系和生态过程,通过结合生态修复目标与生态保护红线划定需求,构建了不同安全水平的水源涵养、地质灾害防护、生物多样性保护以及综合生态安全格局。基于形态学空间格局分析法识别重要潜在生态廊道,构建泰山区域的“一核三心,一轴一带多节点”的生态网络结构。泰山区域的生态网络结构是国土空间中的重要结构性要素,不仅为生态过程提供空间支持和生态服务功能,还是维护区域生态安全

和提升环泰山城市群人居环境质量的前提和保障。在构建完善的泰山区域生态网络结构基础上,针对性地识别生态敏感性高的生态受损空间,重点考虑山上山下、地上地下等不同生态单元的相互影响,实现系统修复和协同修复的目标。在生态修复基础上,通过复合营建的方式探索供给高质量的生态产品,实现从自然资源向自然资产的转变,打造泰山区域“山青、水绿、林郁、田沃、湖美”的山水林田湖草生命共同体。■

## 参考文献 References

- [1] 林坚,吴宇翔,吴佳雨,等.论空间规划体系的构建——兼析空间规划、国土空间用途管制与自然资源监管的关系[J].城市规划,2018,42(5):9-17. LIN Jian, WU Yuxiang, WU Jiayu, et al. Construction of the spatial planning system: with discussions on the relationship between spatial planning, territorial spatial regulation, and natural resources supervision[J]. City Planning Review, 2018, 42(5): 9-17.
- [2] 王亚飞,樊杰,周侃.基于“双评价”集成的国土空间地域功能优化分区[J].地理研究,2019,38(10):2415-2429. WANG Yafei, FAN Jie, ZHOU Kan. Territorial function optimization regionalization based on the integration of "Double Evaluation"[J]. Geographical Research, 2019, 38(10): 2415-2429.
- [3] YU K. Security patterns and surface model in landscape ecological planning[J]. Landscape and Urban Planning, 1996, 36(1): 1-17.
- [4] 欧定华,夏建国,张莉,等.区域生态安全格局规划研究进展及规划技术流程探讨[J].生态环境学报,2015,24(1):163-173. OU Dinghua, XIA Jianguo, ZHANG Li, et al. Research progress on regional ecological security pattern planning and discussion of planning technique flow[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2015, 24(1): 163-173.
- [5] 王云才,黄俊达.生态智慧引导下的太原市山地生态修复逻辑与策略[J].中国园林,2019,35(7):56-60. WANG Yuncai, HUANG Junda. The logic and strategies of mountain ecological restoration in Taiyuan inspired by ecological wisdom[J]. Chinese Landscape Architecture, 2019, 35(7): 56-60.
- [6] 肖华斌,盛硕,刘嘉.基于景观生态安全格局评价的佛山市生态基础设施构建研究[J].中国园林,2017,33(11):118-122. XIAO Huabin, SHENG Shuo, LIU Jia. Study on the construction of ecological infrastructure in Foshan City based on the evaluation of landscape ecological security pattern[J]. Chinese Landscape Architecture, 2017, 33(11): 118-122.
- [7] 周锐,王新军,苏海龙,等.平顶山新区生态用地的识别与安全格局构建[J].生态学报,2015,35(6):2003-2012. ZHOU Rui, WANG Xinjun, SU Hailong, et al. Identification and security pattern of ecological land in Pingdingshan newly developed area[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(6): 2003-2012.
- [8] 储金龙,王佩,顾康康,等.山水型城市生态安全格局构建与建设用地开发策略[J].生态学报,2016,36(23):7804-7813. CHU Jinlong, WANG Pei, GU Kangkang, et al. Ecological security pattern establishment & strategies for developing construction land in landscape-type city[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(23): 7804-7813.
- [9] SOILLE P, VOGT P. Morphological segmentation of binary patterns[J]. Pattern Recognition Letters, 2009, 30(4): 456-459.
- [10] 邱瑶,常青,王静.基于MSPA的城市绿色基础设施网络规划——以深圳市为例[J].中国园林,2013,29(5):104-108. QIU Yao, CHANG Qing, WANG Jing. A MSPA-based planning of urban green infrastructure network: a case of Shenzhen[J]. Chinese Landscape Architecture, 2013, 29(5): 104-108.
- [11] 于亚平,尹海伟,孔繁花,等.基于MSPA的南京市绿色基础设施网络格局时空变化分析[J].生态学报,2016,35(6):1608-1616. YU Yaping, YIN Haiwei, KONG Fanhua, et al. Analysis of the temporal and spatial pattern of the green infrastructure network in Nanjing, based on MSPA[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 35(6): 1608-1616.
- [12] 杨志广,蒋志云,郭程轩,等.基于形态空间格局分析和最小累积阻力模型的广州市生态网络构建[J].应用生态学报,2018,29(10):3367-3376. YANG Zhiguang, JIANG Zhiyun, GUO Chengxuan, et al. Construction of ecological network using morphological spatial pattern analysis and minimal cumulative resistance models in Guangzhou City, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 29(10): 3367-3376.
- [13] 王玉莹,沈春竹,金晓斌,等.基于MSPA和MCR模型的江苏省生态网络构建与优化[J].生态科学,2019,38(2):138-145. WANG Yuying, SHEN Chunzhu, JIN Xiaobin, et al. Developing and optimizing ecological networks based on MSPA and MCR model[J]. Ecological Science, 2019, 38(2): 138-145.
- [14] 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. PENG Jian, ZHAO Huijuan, LIU Yanxu, et al. Research progress and prospect on regional ecological security pattern construction[J]. Geographical Research, 2017, 36(3): 407-419.
- [15] KONG F H, YIN H W, NAKAGOSHI N, et al. Urban green space network development for biodiversity conservation: identification based on graph theory and gravity modeling[J]. Landscape and Urban Planning, 2010, 95(1-2): 16-27.
- [16] 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. YU Kongjian, WANG Sisi, LI Dihua, et al. The function of ecological security patterns as an urban growth framework in Beijing[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(3): 1189-1204.
- [17] 段玉宝,田秀华,马建章,等.黄河三角洲东方白鹳繁殖期觅食栖息地的利用[J].生态学报,2015,35(8):2628-2634. DUAN Yubao, TIAN Xiuhua, MA Jianzhang, et al. Foraging habitat use of the oriental white stork during its breeding season[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(8): 2628-2634.