

DOI: 10.5846/stxb201905281103

王晓玉,冯喆,吴克宁,林倩.基于生态安全格局的山水林田湖草生态保护与修复.生态学报,2019,39(23):8725-8732.

Wang X Y, Feng Z, Wu K N, Lin Q. Ecological conservation and restoration of Life Community Theory based on the construction of ecological security pattern. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(23): 8725-8732.

基于生态安全格局的山水林田湖草生态保护与修复

王晓玉¹, 冯 喆^{1,2,*}, 吴克宁^{1,2}, 林 倩³

1 中国地质大学(北京)土地科学技术学院, 北京 100083

2 自然资源部土地整治重点实验室, 北京 100035

3 宁波市城乡规划研究中心, 宁波 315042

摘要:山水林田湖草生命共同体理论认为:生态要素之间存在普遍联系。在生态安全格局构建中,也应着重维护生态过程的完整性与连通性。以宁波市下辖 6 个城区为研究区,基于山水林田湖草生命共同体理论构建生态安全格局,以景观连通性评价与栖息地质量评价为基础提取生态源地,确定生态保育区。选取地形、地类因子分别作不同距离的缓冲区分析,对由土地利用类型设定的基础阻力面进行修正,形成综合阻力面。通过最小累积阻力模型识别生态廊道,与生态保育区结合,构建宁波市点-线-面的生态安全格局。研究表明:生态源地面积 47.24 km²,占研究区总面积的 1.30%,生态源地分布较为分散,在东西方向上分布不均衡,生态保育区总面积 1191.67 km²,占研究区总面积的 32.83%。生态保育区与山地丘陵重合度较高,且植被覆盖度高,生态资源丰富,生态廊道总长度 519.32 km。研究区生态廊道呈网状分布,有效的促进物质能量的流动。在阻力面设定中引入邻域分析方法,突出了不同生态要素之间的联系,体现了山水林田湖草生命共同体思想,为该地区生态保护修复提供参考。

关键词:山水林田湖草;生命共同体;生态安全格局;宁波

Ecological conservation and restoration of Life Community Theory based on the construction of ecological security pattern

WANG Xiaoyu¹, FENG Zhe^{1,2,*}, WU Kening^{1,2}, LIN Qian³

1 School of Land Science and Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2 Key Laboratory of Land Consolidation, Ministry of Natural Resources, Beijing 100035, China

3 Ningbo Urban-Rural Planning Research Center, Ningbo 315042, China

Abstract: The Life Community Theory holds that there is a general relationship between ecological factors, so the integrity and connectivity of ecological process should also be maintained in the construction of ecological security pattern. In this paper, six urban districts of Ningbo City were chosen as the research area, and the ecological source areas were identified by the combination of landscape connectivity evaluation and habitat quality assessment. In the construction of the resistance surface, the terrain, forest land and water body factors were selected to adjust the basic resistance surface set by the land use type. The ecological corridors were identified by the model of minimum cumulative resistance, and the ecological source areas, ecological corridors and ecological conservation areas were superposed to construct the ecological security pattern. The results show that the ecological source areas are 47.24 km² accounting for 1.30% of the total study area. The distribution of ecological sources is scattered, uneven in the east-west direction, and more in the eastern region. The total area of the

基金项目:国家自然科学基金项目(41901261);中央高校基本科研业务费(2652017100);“全国耕地健康产能试点与技术体系完善——江苏省宜兴市试点研究”

收稿日期:2019-05-28; 修订日期:2019-09-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhefeng@cugb.edu.cn

ecological protection zone is 1191.67 km², accounting for 32.83% of the total study area. The total length of the ecological corridor is 519.32 km. The ecological corridors in the study area are distributed in a network, which effectively promotes the flow of material and energy. The application of neighborhood analysis method in the resistance surface setting highlights the relationship between different ecological factors, embodies the idea of Life Community Theory, and provides references for ecological protection and restoration in this area.

Key Words: mountains-rivers-forests-farmlands-lakes-grasslands; life community; ecological security pattern; Ningbo City

长期以来,由于社会经济的高速发展,中国面临巨大的生态环境挑战。自然资源的粗放利用和快速的城市扩张引发了植被退化、水资源污染、生态环境破碎化等一系列生态环境问题^[1]。在这种情况下,统筹山水林田湖草系统治理、实施生态修复成为应对生态问题、建设美丽中国的战略举措^[2]。

构建生态安全格局是维护生态安全的有效途径^[3]。生态安全格局理论兴起于 20 世纪 90 年代,经过学者的一系列探索,逐步形成了由生态源地、廊道、节点、网络等要素组成的生态空间优化模式^[4-7]。马克明等提出了区域生态安全格局构建的理论基础,强调区域生态安全格局的构建要以协调人与自然的中心^[4]。俞孔坚等通过对北京市的水文、地质灾害、文化遗产等的系统分析,判别关键性景观格局,构建了不同安全水平的综合生态安全格局^[5]。彭健等运用水源涵养、土壤保持等评价生态保护重要性,并用地质灾害敏感性修正基本阻力面,构建区域生态安全格局^[6]。景永才等认为城市群、城市区域内部等的生态系统服务供需的多尺度评价与城市功能分区等将是未来生态安全格局的研究重点,并通过生态系统服务供需流进行了生态安全格局的构建与优化^[8]。其原理是从具有重要生态功能的生境斑块出发^[9],通过模拟生态过程的空间运动,识别对区域生态安全有关键作用的生态廊道及其空间位置和相互关系^[10-12],进而组成生态安全网络^[13-15]。在生态安全格局构建的过程中,需要综合考虑区域各类生态要素的整体性与协调性^[16-17],符合生命共同体的基本理念。构建结果可为实施区域生态修复提供空间依据^[18-20]。因此,将山水林田湖草生命共同体理念融入生态安全格局构建,能够有效缓解区域生态安全与经济发展的矛盾^[20-22],形成区域绿色、和谐发展模式。

在现有的生态安全格局构建方法中,对不同景观类型之间的相互作用体现不够充分,不利于各要素之间的统筹考虑。为此,本文以宁波市城六区为研究区,针对当地生物多样性损失、生境破碎化等问题,结合生境质量与景观连通性评价结果识别生态源地;以土地利用类型为基础设定基础阻力值,并通过水体、林地邻域分析与地形因素进行修正,以体现不同生态要素间的整体性;采用最小累积阻力模型识别生态廊道,构建区域生态安全格局。希望通过本研究,为山水林田湖草生态修复提供空间优化工具。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

宁波地处我国海岸线中段,长江三角洲南部(28°51'—30°33'N,120°55'—122°16'E),属亚热带季风气候,温和湿润,四季分明。降水量充沛,河流水系发育,有丰富的水热资源。本文选择宁波市六个城区作为研究区(图 1),城六区面积 3630 km²,总体呈现西高东低的特征。区域内生态要素丰富,林地、耕地、城市呈环带状分布,适宜开展生态安全格局研究。

1.2 数据来源与预处理

土地利用数据为宁波市 2015 年土地利用遥感监测数据,来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn/>),土地利用类型包括耕地、林地、草地、水域、居民地和未利用土地 6 个一级类型以及 25 个二级类型。空间分辨率为 30 m。DEM 来自于美国地质勘察局提供的 GTOPO30DEM。在 ArcGIS 软件的支持下,将所有数据的空间坐标统一为 Albers 等积圆锥投影(Albers Conic Equal Area),采用最邻近分配重采样方法将栅格单元大小统一为 30 m×30 m。

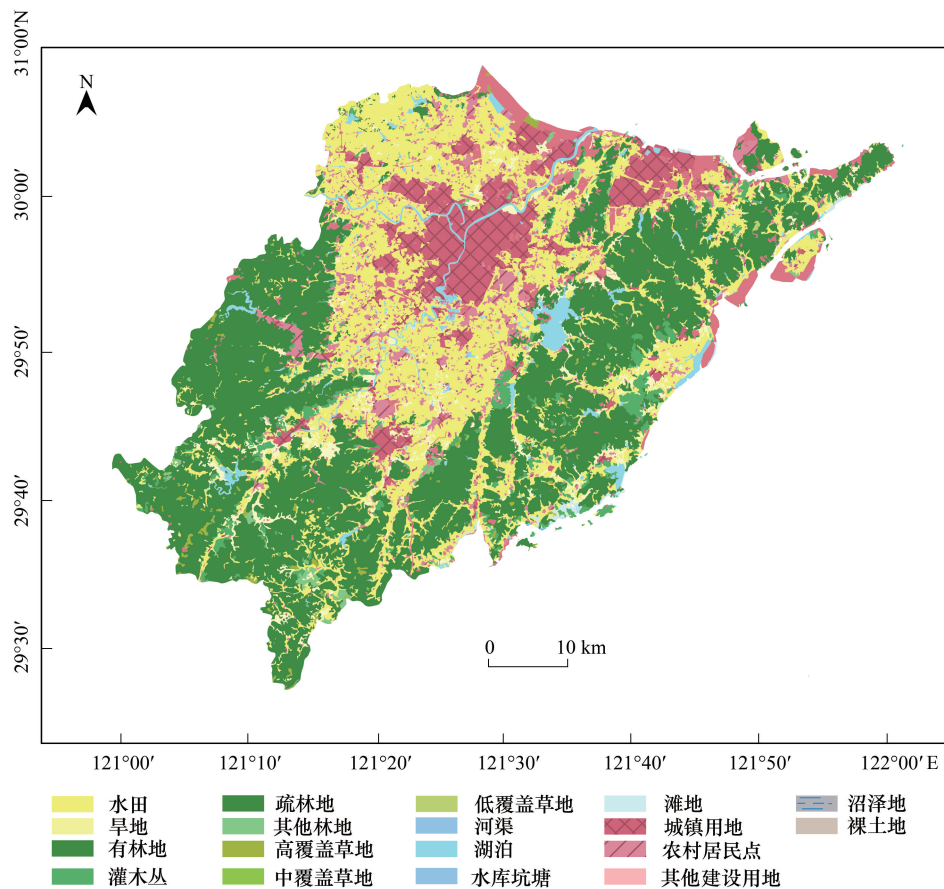


图 1 研究区

Fig.1 Research area

1.3 研究方法

1.3.1 生态源地的识别

生态源地是指维护区域生态安全和可持续发展必须加以保护的区域,是物种扩散、生态功能流动与传递的源点。本研究结合生境质量和景观连通性评价识别生态源地。

其中,生境质量评价采用 InVEST 模型(Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade-offs)的生境质量模块。在这一模块中,建设用地、未利用地和耕地被视为威胁源。通过设置每种威胁源的相对影响力、生境栅格与威胁源之间的距离、生境地类对于威胁源的敏感性等级等参数,采用距离衰减法生成生境质量地图。其参数设置如表 1。

表 1 威胁数据

Table 1 The threat date

威胁源 Threat	建设用地 Land for construction	耕地 Cultivated land	未利用地 Unused land
园地 Garden land	0.8	0.6	0.8
林地 Forest land	0.5	0.35	0.5
草地 Grass land	0.9	0.7	0.75
权重 Weight	1	0.7	0.2
最大影响距离 Max-distance/km	0.8	0.5	0.3

景观连通性是对景观空间结构单元之间连续性的度量。较高的景观连通性有利于维护生态过程以及生物多样性。本研究通过 Conefor 2.8 计算景观连通性,运用整体连通性指数(Integral Index of Connectivity, IIC)和可能连通性指数(Probability of Connectivity, PC)对研究区景观的连通性进行评价。在连通性指数计算的基础上,计算每个斑块的重要性 dIIC,即每个景观斑块对整体连通性的重要程度,用以表征斑块连通重要性。在斑块连通性指数计算过程中,斑块距离的阈值设为 500 m,连通概率设为 0.5。计算公式如下:

$$dIIC = (IIC - IIC_{\text{remove}}) / IIC \times 100\% \quad (1)$$

式中, dIIC 表示某斑块被移除后 PC 的变化,用来衡量该斑块对于维持景观连通性的重要程度。 IIC_{remove} 为去除单个斑块后剩余斑块的整体指数值, IIC 表示斑块的整体连通性指数。

最后,将生境质量评价图与景观连通性评价图等权叠加,按照自然断点法对生态保护重要性分为 5 级。由于细碎斑块辐射作用有限,选择生态保护极重要区域面积大于 2 km²的斑块作为生态源地。

1.3.2 最小累积阻力面的构建

物种在区域间进行空间运动需要克服阻力,通过设定由生态源地向其他景观单元扩散的最小阻力值,判断各景观单元至生态源地的可达性与连通性,阻力面作为构建廊道的基本途径,对生态安全格局起着重要作用。山水林田湖草为一个生命共同体,各要素之间相互影响,互相融合^[22],利用这一原理构建阻力面,使生态廊道更加科学合理。符合研究区实际情况。

选择土地利用类型作为构建阻力面的主要因子,依据土地利用类型对研究区设置基本阻力面。考虑研究区各生态要素之间相互作用,按照生态效益的不同分别对其进行缓冲区分析,作为对基础阻力面的修正(表 2)。以林地为例,林地范围内阻力值设为 1,缓冲区 500 m 范围内阻力值设为 3,距林地 500 m 以外的区域受林地的生态辐射作用较小,与林地的关系不大,因此阻力值设为 50。在地形修正方面,选择高程、坡度两个因子作为地形指标的表现方式,水体方面,选择湖泊水库、河渠、滩涂 3 种水资源形式对基本阻力面进行修正,分别对林地、湖泊水库、河渠、滩涂进行有差异的缓冲区分析,其中湖泊水库生态效益最高,河渠次之,滩涂生态效益最小,缓冲距离因生态效益的不同而各有差异,值得提出的是,在对水体及其缓冲区进行阻力赋值时,临近水体阻力值较水体范围内低。同样,对林地进行缓冲区分析,与水体不同,林地范围内阻力值设定最低,随着距离的增加,阻力值随之提高。

表 2 阻力值设置
Table 2 Resistance value

阻力因子 Resistance factor		权重 Weight	阻力值 Resistance value				
			300	100	50	3	1
土地利用类型 Land use type	土地利用类型	0.5	建设用地、 未利用土地	旱地	水田、 中低覆盖草地	高覆盖草地、 水体	湿地、林地
林地 Forest land	林地	0.1	>1500	1000—1500	500—1000	500 米缓冲区	范围内
地形 Terrain	高程	0.15	<50	50—200	200—300	300—500	>500
	坡度	0.05	<5	5—10	10—20	20—30	>30
水体 Water body	湖泊水库	0.1	>1500	800—1500	300—800	范围内	外围 300 m
	河渠	0.05	>1000	500—1000	200—500	范围内	外围 200 m
	滩涂	0.05	>500	300—500	100—300	范围内	外围 100 m

1.3.3 生态安全格局构建

生态廊道指连接生态源地的线状或带状生态景观^[15],体现了源地的连通性和可达性。在生态源地识别及扩张阻力面构建的基础上,根据最小累积阻力模型分析其空间分布特征与数值大小,提取出生态源地之间的低阻力通道作为生态廊道。最小累积阻力模型的基本公式如下:

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

式中, MCR 为最小累积阻力值, f 表示最小阻力与生态活动的正相关关系, D_{ij} 为物种从源地 j 到景观单元 i 的空间距离, R_i 表示景观 i 对某种物种运动的阻力。

在生态源地与生态廊道提取的基础上,对其进行叠置组合,形成研究区生态网络。选择生态源地提取中的生态重要性 4 级、5 级区域作为生态保育区,对生态源地与生态廊道所形成的生态网络进行补充,形成研究区点-线-面的生态安全格局。

2 结果分析

2.1 生态重要性分级

经过归一化处理后的研究区生境质量分布如图 2 所示,生境质量两极化严重,生境质量为 0 的区域位于研究区中部及北部,面积较大,且连接成片。其余区域生境质量差异不大,生境质量高值区域位于研究区西部、南部和东部,基本呈环状分布,主要位于鄞州区、北仑区东部,海曙区西部及奉化区大部分地区,该区域土地利用类型多为林地,植被覆盖素较高,且地势较高,多为山地丘陵,山脉与林地基本构成了栖息地质量高值区域。

景观连通性分布如图 2 所示,重要板块分布主要呈中北部高,南部低的趋势,由图 2 可知,连通性高值区域分布集中于研究区中部和北部,位于海曙区东部,鄞州区、北仑区西部,江北区与镇海区大部分地区,并广泛分布散于研究区各个位置,土地利用类型多为耕地。连通性低值区域分布于区内山脉与丘陵等地,土地利用类型多为林地。除此之外,中部及北部沿海的建设用地连通性同样不高。

将归一化的景观连通性与生境质量进行等权叠加,得到研究区生态重要性分级图,如图 3 所示,生态保护极重要区域 5 级面积 181.57 km^2 ,占研究区总面积的 5%,各个斑块面积较小,在研究区内呈零散分布,用地类型主要为水体。生态保护高度重要区域面积 1508.1 km^2 ,占研究区总面积的 41.55%,主要分布于区内西南地区和东部地区,用地类型主要为林地。生态保护中等重要区域面积 1057.34 km^2 ,占研究区总面积的 29.13%,其中中部和北部区域分布较为集中,在研究区内其他地区分布广泛,主要用地类型为耕地。由生态保护重要性前 3 级区域构成初步的山水林田湖草生命共同体。选取 9 个面积最大的生态极重要区域作为生态源地,构建研究区生态安全格局。生态源地面积 47.24 km^2 ,占研究区总面积的 1.30%。

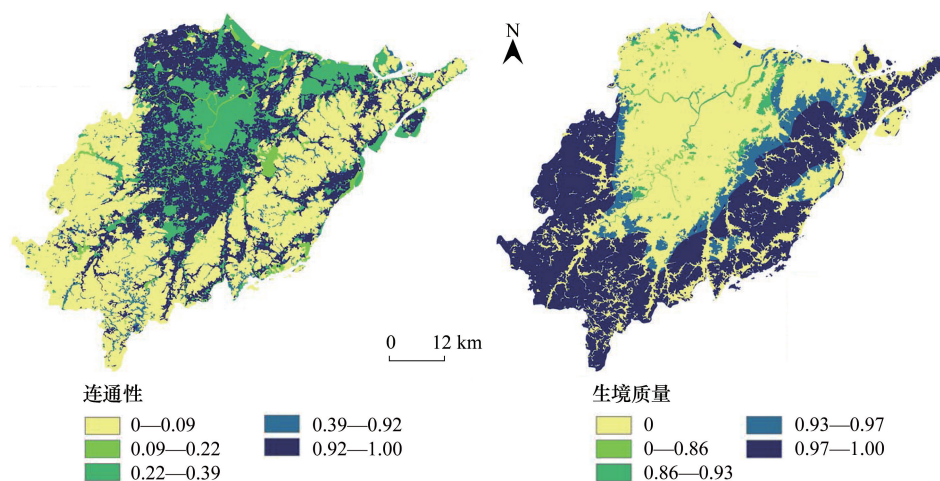


图 2 生态重要性评价结果

Fig.2 Evaluation of ecosystem' importance

2.2 最小累积阻力面的建立

依据土地利用类型进行基本阻力面的设置,阻力值整体由南向北呈环状分布增加,阻力值最高的区域位

于研究区中北部与北部沿海地区。如图 4 所示,对林地分别作 500 m、1000 m、1500 m 缓冲区,研究区林地范围较大且林地内部设置阻力值最小,对高程进行阻力值设定,由图 4 可看出,研究区林地与山脉丘陵重合率较高,都位于研究区外围,研究区中部阻力值最高。对研究区水体进行缓冲区分析,由图 4 可知,研究区湖泊水库密布,广泛分布于各个区域;河流与滩涂面积较小,以景观单元的阻力值对整体阻力面进行修正。

经过修正后的阻力值如图 5 所示,阻力值最高为 300,最低为 22.25,阻力值整体分布趋势与基础阻力面相似,修正后的阻力值在地类内部有明显变化,能更好的表征生态功能的流动。

2.3 关键生态廊道识别与生态安全格局构建

在生态源地提取的基础上,利用最小累积阻力模型

识别生态廊道。如图 6 所示,研究区生态源地之间联系密切,廊道总长度 519.32 km,整体呈网状分布,变化趋势由西到东、由东北向西南逐渐复杂。原因是生态源地的分布在东西方向上不均衡,东部地区较多,且东部分布有低阻力值区域,生态廊道交叉重合,是生态过程运动频繁的重要表现。

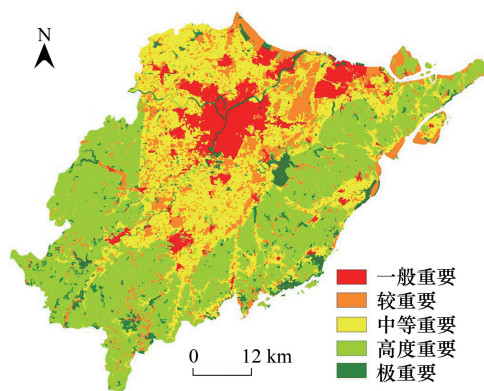


图 3 生态重要性空间格局

Fig.3 Spatial patterns of ecosystem' importance

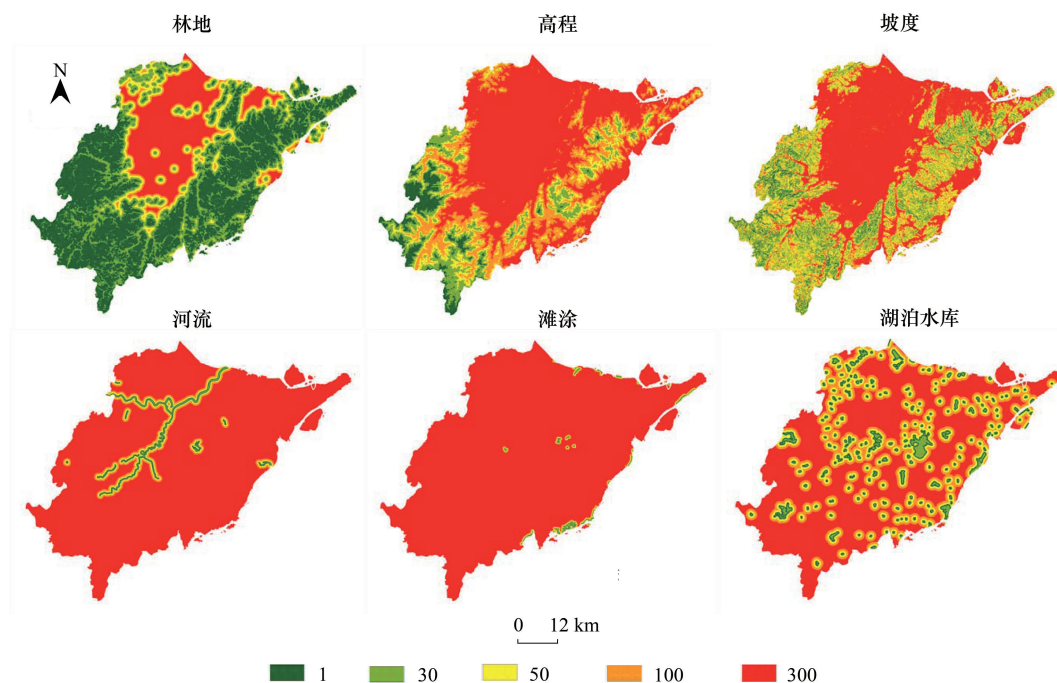


图 4 修正因子阻力值空间分异

Fig.4 Spatial differentiation of Correction factor

以水体、湿地为主的生态源地,通过林地、耕地等生态廊道,构成了研究区点线面状的生态安全格局。把生态重要 4 级区域作为生态保育区,作为对生态源地的保护与补充。生态保育区连接成片,与山地丘陵重合度较高,且植被覆盖度高,生态资源丰富。研究区在进行生态修复及开发建设时,结合“山水林田湖草是一个生命共同体”理念,考虑生态安全格局中的各生态要素与研究区其他要素之间的物质运动和能量转移,实现自然资源的永续利用。

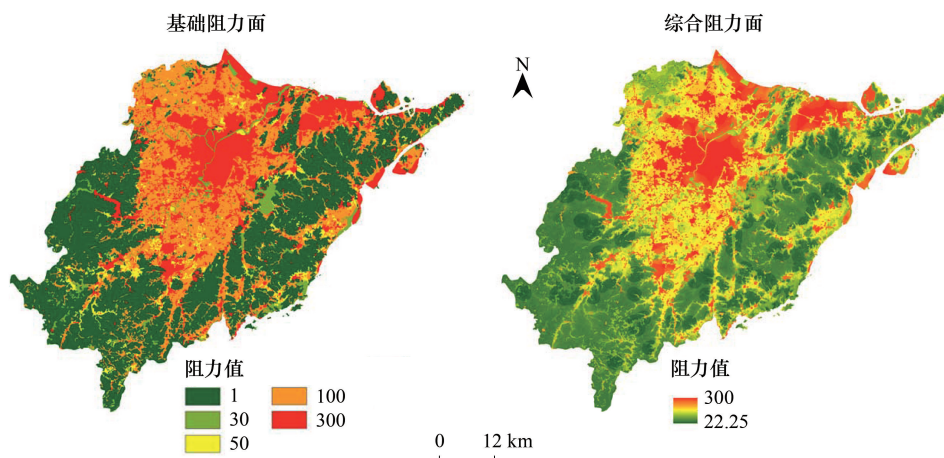


图5 生态阻力值空间分异

Fig.5 Spatial differentiation of ecological resistance value

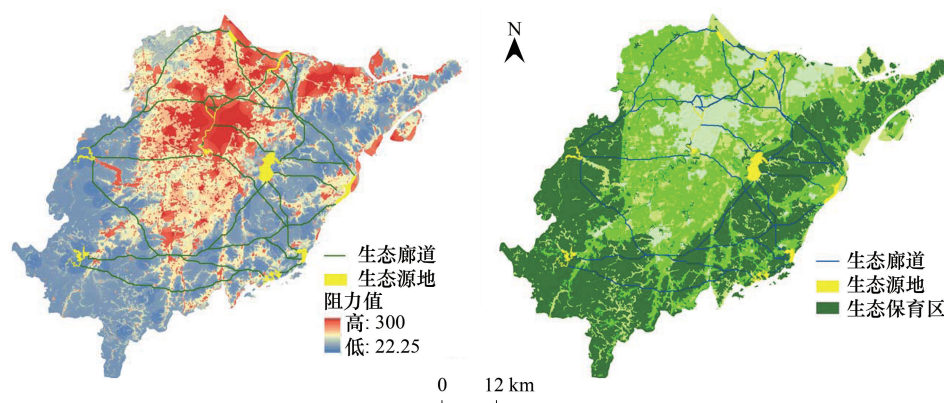


图6 生态安全格局

Fig.6 Ecological security patterns

3 结论与讨论

本文以宁波市城六区为研究区,将归一化的景观连通性与生境质量进行等权叠加,得到研究区生态重要性分级图,其中,级数越高,生态重要性越强。生态最重要区域5级面积 181.57 km^2 ,占研究区总面积的5%,各个斑块面积较小,在研究区内呈零散分布,按照各斑块面积大小,选取8个面积最大的生态重要性一级区域作为生态源地,构建研究区生态安全格局。以生态用地林地与水体作为修正因素,并将地形因子的生态影响纳入考虑,对由土地利用类型设定的基础阻力面进行修正,从而识别出更加符合生态能量流动的生态廊道,廊道总长度 519.32 km ,整体呈网状分布。将生态重要性5级其他区域与四级区域作为生态保育区,开展山水林田湖草生态修复,将源地、廊道、生态保育区等生态要素叠置,从而构建完整的生态安全格局。

生态源地是生态安全格局构建的基础,是维护区域生态安全和生态功能必须加以重点保护的区域。生态斑块的面积大小影响生态斑块的生态系统服务有效性和距离,生态源地的最小面积阈值一直是研究的难点。本研究在生态重要性分级的基础上,首先确定了要选择的源地数量,然后根据面积的大小,选择生态源地。这个方法在一定程度上保证了生态重要建设区域的数量和分布,但是对尺度问题考虑不够,生态源地数量的确定主观性较强,以期在接下来的研究中加以深化改进。

本文基于山水林田湖草生命共同体理念构建阻力面,运用了高程及坡度数据对阻力面进行修正,事实上,地形因素对生态运动及生态过程影响较大。以地形作为指标对研究区基本阻力面进行修正,体现出“山”对于生态安全格局构建的重要性。另外,林地和水域作为重要的生态要素,对周边的景观单元产生减小阻力值的影响,每一种地类内部的阻力值存在差异。以生态要素与地形对基础阻力面进行修正之后,所产生的综合阻力面能细致的体现每一景观单元对生态过程的影响,从而使廊道的走向与分布更具科学性。

山水林田湖草是一个生命共同体,基于本研究所构建的生态安全格局,在构建过程中体现此理念,更在格局中形成了景观共同体。一方面,生态安全格局强调生态过程的完整性,促进生态要素功能和结构的协调,维持区域生态系统安全,这与山水林田湖草生命共同体的理念相统一。另一方面,山水林田湖草所代表的各要素相互影响与融合。而生态廊道是生态安全格局构建的重要组分,将生命共同体理念体现在阻力面上,从而使生态廊道更加科学合理,符合实际。生态源地与生态保育区的保护更要结合生命共同体理论,从整体出发,不能分割式管理。生态源地内维持内有的生态系统服务功能,保护生物多样性,在生态廊道加强绿色基础设施建设,维持生态源地内部及生态源地之间的物质能量流动。在生态保育区内加强山水林田湖草生态保护修复,生态保育区土地利用类型多为水体,林地,地形多为山地丘陵,植被覆盖率高,生态资源丰富,人为开发或自然灾害对生态环境造成不可恢复的破坏,需要特殊保护与生态修复。生态廊道连接区域各地,将区域贯通为一个有机的整体,在生态廊道区域加强绿色基础设施建设,把区域内生态用地与非生态用地连接起来,提高非生态用地生态环境质量,更好的有序推进山水林田湖草生态保护修复。

参考文献 (References):

- [1] 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远景. 生态学报, 2009, 29(3): 1189-1204.
- [2] 财政部,国土资源部,环境保护部. 关于推进山水林田湖生态保护修复工作的通知. (2016-09-30). http://jjs.mof.gov.cn/zhengwuxinxi/zhengcefagui/201610/t20161008_2432147.html.
- [3] 欧定华,夏建国,张莉,赵智. 区域生态安全格局规划研究进展及规划技术流程探讨. 生态环境学报, 2015, 24(1): 163-173.
- [4] 马克明,傅伯杰,黎晓亚,关文彬. 区域生态安全格局: 概念与理论基础. 生态学报, 2004, 24(4): 761-768.
- [5] 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.
- [6] 彭建,郭小楠,胡熠娜,刘焱序. 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.
- [7] 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.
- [8] 景永才,陈利顶,孙然好. 基于生态系统服务供需的城市群生态安全格局构建框架. 生态学报, 2018, 38(12): 4121-4131.
- [9] Forman R T T. Some general principles of landscape and regional ecology. Landscape Ecology, 1995, 10(3): 133-142.
- [10] 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.
- [11] 赵筱青,和春兰. 外来树种桉树引种的景观生态安全格局. 生态学报, 2013, 33(6): 1860-1871.
- [12] 彭保发,郑俞,刘宇. 耦合生态服务的区域生态安全格局研究框架. 地理科学, 2018, 38(3): 361-367.
- [13] 杨天荣,匡文慧,刘卫东,刘爱琳,潘涛. 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.
- [14] 江源通,田野,郑拴宁. 海岛型城市生态安全格局研究——以平潭岛为例. 生态学报, 2018, 38(3): 769-777.
- [15] Liang J, He X Y, Zeng G M, Zhong M Z, Gao X, Li X D, Wu C T, Feng C T, Xing W L, Fang Y L, Mo D. Integrating priority areas and ecological corridors into national network for conservation planning in China. Science of the Total Environment, 2018, 626: 22-29.
- [16] 吴健生,刘洪萌,黄秀兰,冯喆. 深圳市生态用地景观连通性动态评价. 应用生态学报, 2012, 23(9): 2543-2549.
- [17] 邹长新,王燕,王文林. 统筹设计 科学分区 强化管理——青海祁连山山水林田湖草生态保护与修复探索实践. 中国生态文明, 2019, (1): 74-75.
- [18] 刘鹏举. 推进山水林田湖草生态修复建设美丽中国. 环境与发展, 2018, 30(10): 6-7.
- [19] 黄贤金,杨达源. 山水林田湖生命共同体与自然资源用途管制路径创新. 上海国土资源, 2016, 37(3): 1-4.
- [20] 王夏晖,何军,饶胜,蒋洪强. 山水林田湖草生态保护修复思路与实践. 环境保护, 2018, 46(3/4): 17-20.
- [21] 宇振荣,郇文聚. “山水林田湖”共治共管“三位一体”同护同建. 中国土地, 2017, (7): 8-11.
- [22] 徐德琳,邹长新,徐梦佳,游广永,吴丹. 基于生态保护红线的生态安全格局构建. 生物多样性, 2015, 23(6): 740-746.