

doi: 10.7621/cjarrp.1005-9121.20190413

· 技术方法 ·

基于生态安全格局的城乡生态空间布局与优化^{*}

——以宣城市为例

马明^{1*}, 顾康康¹, 李咏²

(1. 安徽建筑大学建筑与规划学院, 合肥 230022;

2. 合肥工业大学设计院(集团)有限公司, 安徽合肥 230001)

摘要 [目的] 构建生态安全格局、优化城乡生态空间布局, 对提升生态环境承载力、促进生态与经济协调发展具有重要作用。[方法] 以宣城市为例, 基于 ArcGIS 的空间叠加技术, 通过生态系统服务价值评价识别主要生态源地, 并采用最小累计阻力模型(MAC)选取生态战略点及生态廊道分布, 构建出生态安全格局, 进而对宣城市城乡生态空间布局进行优化。[结果] (1) 生态极重要和高度重要区域面积为 918.78 km², 占全区面积的 35.53%; (2) 生态源地的总面积为 978.83 km², 占全区面积的 37.85%; (3) 选取的生态廊道多呈现出南北向的连接走向分布, 但两点之间相互连接的空间网络化程度较低, 且构建出生态高与较高安全区面积为 921.70 km², 占宣城市区面积比重为 35.65%; (4) 优化并形成“绿核+水廊+绿廊”多层次、网络化的宣城市城乡生态空间结构, 并进一步优化空间布局。[结论] 可为构建生态安全格局、保障城市生态安全、优化城乡生态空间布局提供科学参考。

关键词 生态安全格局 城乡生态空间 阻力模型 布局优化 宣城市

中图分类号: TU984 **文献标识码**: A **文章编号**: 1005-9121[2019]04093-10

0 引言

伴随着快速城镇化进程中的无序开发、过度开发, 自然生态系统被破坏、生态空间破碎化等问题日益突出^[1]。生态安全格局是为保障城市生态安全, 通过对自然人文要素的系统整合而形成的空间配置方案^[2-6]。构建城市生态安全格局、辨析生态系统在空间上受威胁的程度, 据此优化城乡生态空间, 是提升城乡生态环境品质、保护城乡生态系统的重要手段。生态安全格局是多维度、共生的复合系统^[2,4], 量化的构建方法主要包括综合计量综合指数法^[5-8]、生态敏感性评价法^[9-12]、景观安全格局法^[13-15]、ArcGIS 空间分析法^[12-19]、多情景模型法^[20-24]等。在生态空间优化方面, 杨天荣、吕贤军、陈永林等基于城市群层面, 提出了“廊道组团式网络”的生态空间结构模式^[25-27]; 陈玲等提出了“生态因子—生态评价—生态红线划定—生态空间格局”的空间综合研究体系路径^[28]; 王智勇以生态敏感性评价为基础构建了“绿带/绿心+环楔”的生态空间结构^[29]。但长期以来, 基于生态学的研究内容与土地利用总体规划、城乡规划的规划成果之间存在严重脱节, 生态安全格局与生态空间优化之间衔接不足, 导致生态安全格局构建难以真正对空间优化和管理起到指导作用。

宣城市作为山水资源型城市, 生态环境突出, 三大山脉黄山、天目山、九华山汇集, 五大水系青弋江、水阳江、太湖、新安江、天目溪穿境而过。作为区域中心城市, 在快速城镇化进程中, 尤其需要平衡

收稿日期: 2018-10-24

作者简介: 马明(1979—), 男, 安徽临泉人, 硕士, 讲师。研究方向: 城乡规划理论与设计、城市生态规划。Email: ahjzu_mam@163.com

***资助项目**: 国家自然科学基金项目“‘古徽州’传统聚落空间网络特征、形成机制及对乡村规划”(51678001); 国家自然科学基金项目“基于精明收缩的传统村落功能更新与空间活化研究——以皖赣徽文化核心区为例”(51778002); 住房城乡建设部科学项目计划“新型城镇化下的安徽省县城规划编制关键技术研究”(2015-R2-010)

好城市空间扩张的需求与生态系统保护的要求。因此，基于宣城市独特的生态本底资源，文章通过量化评价生态系统服务重要性，识别生态空间廊道分布特征，构建宣城市生态安全格局，据此优化空间结构并制定具体的空间优化方案，为构建生态安全格局、保障城乡生态安全、优化空间布局提供科学参考。

1 研究区概况及数据来源

1.1 研究区概况

宣城市位于安徽省东南部，是皖苏浙 3 省交汇区域中心城市（图 1）。宣城市区地处皖南山地丘陵与长江中下游冲积平原的交接地带；土地总面积 2 581.36km²，境内地形南高北低，分异明显。北部地区属沿江平原，地势平坦，绝大部分为内河圩畈；中部地区具有较明显的过渡性，以丘陵、岗地为主；南部地区属皖南山地丘陵边缘地带，低山高丘交错，山峦连绵。境内丘陵岗地、低山、平原、圩区、湖泊和河流的比重分别为 58.19%、9.91%、11.74%、13.37%、5.19% 和 1.60%。

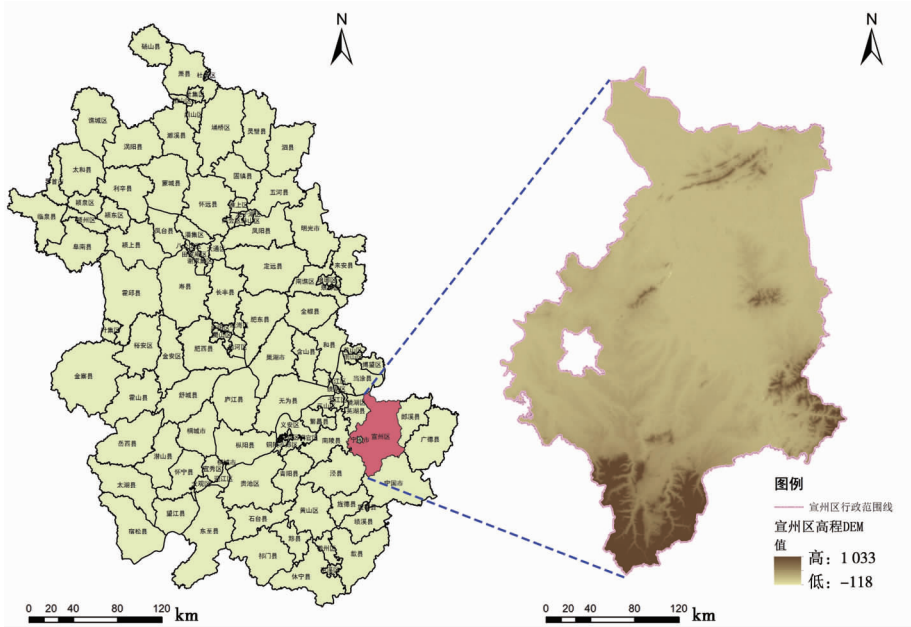


图 1 研究区区位

1.2 数据来源与预处理

主要数据包括：宣城市第二次全国土地调查数据与 2016 年土地变更调查数据，源自宣城市国土资源局，通过 ArcGIS 对数据进行分项处理和提取；地质灾害数据，源自《宣城市地质灾害防治规划（2006—2015 年）》，通过 ArcGIS 转化为矢量数据；DEM（数字高程模型 30m 分辨率）栅格数据，源自于地理空间数据云（<http://www.gscloud.cn/>），由此生成高程、坡度数据；城市公园绿地、河流水系及区域交通等数据，源自《宣城市城市总体规划（2016—2030 年）》与 1:1 万地形图矢量数据。以上数据基于高斯—克吕格投影原理，均为 1980 西安坐标系（表 1）。

2 研究方法

2.1 生态安全格局的构建

2.1.1 生态系统服务重要性评价指标选取及量化分级

基于现状数据的可识别性，综合生态环境特征，合理选取生态系统服务重要性评价要素。①地形地貌：包括高程和坡度，体现地表粗糙程度与风蚀强度；②水文资源：指河流湖泊、水库、内陆滩涂本体及

表 1 研究所用数据

数据名称	分辨率	格式	数据描述
高程坡度	30m	栅格	STRM DEM 数据产品，并由此计算坡度
河流水系	60m	矢量、栅格	1:1 万地形图与国土中期调整完善数据
土壤覆被	1:7.5 万	矢量	国土中期调整完善数据
生态林地	60m	矢量	1:1 万地形图与城市总体规划图
自然灾害	90m	栅格	地质灾害综合防治规划图
基础地理数据	1:1 万	矢量	包括行政区划、道路交通等分布数据

表 2 生态系统服务重要性评价指标选取及量化分级

评价因素	权重	参考文献	评价因子	极重要 5	高度重要 4	中等重要 3	较重要 2	一般重要 1
地形地貌	0.13	[5] [7] [12] [15] [20] [26]	高程 (m)	≥200	100 ~ 200	50 ~ 100	20 ~ 50	< 20
			坡度 (%)	≥25	15 ~ 25	8 ~ 15	2 ~ 8	< 2
水文资源	0.16	[5] [7] [9] [12]	河流湖泊 (m)	≤30	30 ~ 50	50 ~ 100	100 ~ 200	> 200
			水库 (m)	≤20	20 ~ 50	50 ~ 100	100 ~ 150	> 150
			滩涂 (m)	≤30	30 ~ 50	50 ~ 100	100 ~ 200	> 200
			沟渠坑塘 (m)	本体	≤10	10 ~ 20	20 ~ 30	> 30
土地覆被	0.15	[5] [7] [9] [13] [15] [25]	土地类型	河流湖泊、 滩涂、风景 名胜区、有 林地	水库、坑塘、沼 泽地	水田、田 坎、果园、 沟渠、其他 林地	旱地、水浇 地、草地、 采矿、未利 用地	城镇、乡村、铁 路、公路、港口 码头、管道运 输、水工建筑、 设施农用地
生态资源	0.17	[7] [9] [12] [15]	生态林地	郁闭度≥0.7	0.40 ~ 0.69	0.20 ~ 0.39	< 0.20	非林地
			公园绿地	生态保育区	生态恢复重建区	展示体验区	管理服务区	其他
			防护绿地 (m)	≤20	20 ~ 40	40 ~ 60	60 ~ 100	≥100
自然灾害	0.14	[5] [7] [11] [14] [20] [24]	洪水淹没区 (m)	主要河流	50 年	20 ~ 50 年	10 ~ 20 年	10 年
			灾害防治区	—	重点防治	次重点防治	一般防治	其他区域

其空间边界的距离，反映土壤水分含量；③土地覆被：包括各类建设用地、非建设用地及未利用土地等类型，反映地表的稳定性、生态安全强度与城市发展的空间需求；④生态资源：包括城市建成区外部的有林地、内部公园绿地等，体现生态环境的系统性；⑤自然灾害：洪水淹没区、灾害防治区等，具有广泛性与不确定性，其发生频率与范围对生态安全构成巨大威胁。制定量化指标分级体系，确定评价因子重要性分级为 1~5 级，代表值越大，生态风险性越小，表示重要性水平就越高。基于 AHP 层次分析法确定各评价要素权重，对 5 个评价要素结果进行加权叠加，并采用 GIS 自然断裂法进行划分，最后提取极重要和高度重要层级的区域作为宣城市生态源地识别的参照范围（表 2）。

2.1.2 “源”的确定

“源”是指对生态系统起重要促进作用、并需严格保护的地区，其覆盖范围应是生态系统良性循环的底线。“源”的选取要求具有较高的生态本底要素质量，多由生态斑块面积、资源要素分布及生物多样性等的丰富度大小所决定^[13,20-21]。基于生态系统服务重要性评价，识别出极重要与高度重要区域；并结合宣城市生态资源特征，利用 ArcGIS 技术平台，筛选出面积大于 0.02km² 以上的生态林地斑块和具有连续性的河流水系等作为生态源地。

2.1.3 最小累计阻力模型

该模型 1992 年由 Knaapen 提出，经国内学者结合 ArcGIS 中的最小费用路径功能进行改编^[5,10-11]，得到模型计算公式如下：

$$MAC=f_{min}\sum_{i=n}^{i=m}D_{ij}\times R_i$$

(1)

式（1）中， MAC 为最小累计阻力值， f 为正相关函数， D_{ij} 为源 j 扩散到基质面 i 的空间距离值， R_i 为基质面 i 对物种扩散的空间阻力值。

构建物种扩散阻力值评价表，因子阻力系数值设定在 1 ~ 1 000 内，最终阻力值根据德尔菲法和相关研究成果^{[5-7][20-30]}予以确定（表 3）。

表 3 阻力因子赋值体系

评价因素	评价因子	分级标准	阻力值	评价因素	评价因子	分级标准	阻力值
地形地貌	高程（m）	≥200	30	水文资源	河流湖泊、水库	水域类型划分	200
		100 ~ 200	90		滩涂、沟渠、坑塘		100
		50 ~ 100	150	生态资源	生态林地	郁闭度≥0. 7	3
		20 ~ 50	200			0. 40 ~ 0. 69	5
		< 20	300			0. 20 ~ 0. 39	9
	坡度（%）	≥25	30			< 0. 20	50
		15 ~ 25	90	公园绿地	城市绿地分类	20	
		8 ~ 15	150	防护绿地		30	
		2 ~ 8	200	自然灾害	洪水淹没区	10 年一遇淹没区	30
< 2	300	10 ~ 50 年一遇淹没区	90				
土地覆被	土地类型	草地、园地	30			50 ~ 100 年一遇淹没区	180
		农田或耕地	50	100 年一遇淹没区	300		
	村庄及其他建设用地		600	灾害防治区	重点防治	30	
					次重点防治	90	
					一般防治	150	
城镇建设用地		1 000			其他区域	200	

2. 1. 4 廊道选取

通过对任意两点间“源”的连接，选择出最小阻力线，即生态基质扩散最佳的廊道。此两点“源”之间的廊道并非空间上的最短距离，而是通过叠加最小累计阻力模型后所得到的最佳阻力路径，最终形成环状的廊道空间布局模式。利用 ArcGIS 空间分析技术，通过对生态基质的扩展路径进行提取形成生态廊道，对生态安全格局构建提供支撑。

2. 2 城乡生态空间优化

以极重要与高度重要的空间分布为限制条件，依托宣城市地形地貌为生态安全屏障，识别出宣城市城乡生态空间的主要区域；以识别的主要“源地”即生态斑块基质为核心，以选取的生态基质扩散廊道为主要生态廊道，构建出多层次的城乡生态网络结构；以生态斑块基质、生态网络用地为主要对象，对识别出的各类生态要素进行空间重组，强化生态核心区及生态用地间的连接，进行宣城市城乡生态空间布局优化。

3 结果与分析

3. 1 生态安全格局构建

3. 1. 1 生态系统服务重要性评价

基于生态学中的“最小限制定律”方法，将 5 个评价因素进行加权叠加，结论中某一栅格单元的属性值大小取决于自身与其他 4 个单元栅格的生态系统服务重要性水平高低值所决定。其计算模型如下：

$$W_{ESP}=\min\left(G_{ESP}+H_{ESP}+L_{ESP}+E_{ESP}+N_{ESP}\right)$$

(2)

式（2）中： W_{ESP} 表示生态系统服务重要性综合等级； $\min$ 表示该分项取最小值； G_{ESP} 、 H_{ESP} 、 L_{ESP} 、

E_{ESP} 、 N_{ESP} 分别表示地形地貌、水文资源、土壤覆被、生态资源、自然灾害的生态系统服务重要性等级 (图 2)。

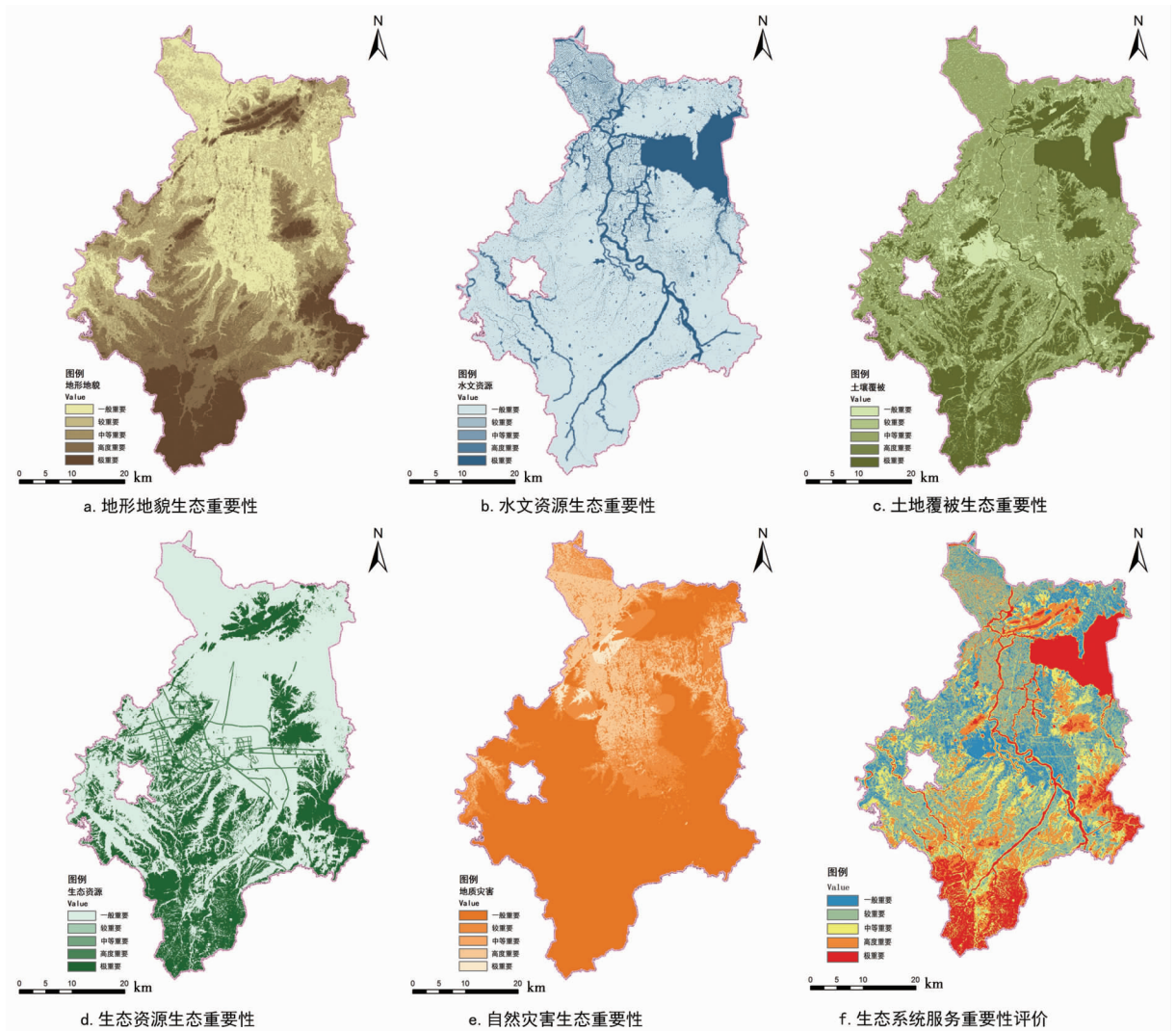


图 2 生态系统服务重要性分类要素评价

由图 2、表 4 可以看出,极重要与高度重要区域面积合计为 918.78km²,占比达 35.53%,主要分布于宣城市南部、东及东北部区域,在空间上形成了南北两个组团式的生态核心区分布特征,主要以南北两区域用地类型以生态林地、河流湖泊等为主;中等重要区域主要集中于中南部、西北部区域,以耕地、果园、一般农用地等用地类型为主,该区域是生态环境保护的缓冲区域,即生态本底与人类建设活动空间的交集地带。较重要与一般重要区域主要集中于宣城市中心城区及北部狸桥镇区区域,在空间上形成连片集中式的发展格局,该区域的地形特征主要以丘陵地带为主,是城镇开发建设的密集区域,对生态环境造成了一定破坏。

各项评价要素反映的结果是:①地形地貌:极重要与高度重要区域面积合计为 839.97km²,占比为 32.48%,主要分布于宣城市的南部及东部区域,属于地形高程坡度较高的区域。②水文资源:极重要与高度重要区域面积合计为 418.35km²,占比为 16.18%,以北部的南漪湖及境内的主要河流水系为主。③土壤覆被:极重要与高度重要区域面积合计为 988.65km²,占比为 38.23%,主要以有林地、灌木林地、水域及湿地等用地类型为主。④生态资源:极重要与高度重要区域面积合计为 902.75km²,占比为

表 4 生态系统服务重要性综合评价

评价要素		极重要	高度重要	中等重要	较重要	一般重要
生态系统服务重要性 综合结果	面积（km ² ）	412.75	506.03	496.04	666.07	505.10
	比例（%）	15.96	19.57	19.18	25.76	19.53
地形地貌	面积（km ² ）	349.10	490.87	506.28	661.97	577.78
	比例（%）	13.50	18.98	19.58	25.60	22.34
水文资源	面积（km ² ）	382.24	36.11	51.60	78.87	2 037.19
	比例（%）	14.78	1.40	2.00	3.05	78.78
土地覆被	面积（km ² ）	900.85	87.80	1 126.02	180.76	290.58
	比例（%）	34.84	3.40	43.54	6.99	11.24
生态资源	面积（km ² ）	783.26	119.49	37.51	24.06	1 621.68
	比例（%）	30.29	4.62	1.45	0.93	62.71
自然灾害	面积（km ² ）	29.81	285.69	169.67	369.87	1 730.96
	比例（%）	1.15	11.05	6.56	14.30	66.94

34.91%，主要以宣城市南部、北部及东部的生态林地、中部的城市公园和沿主要道路的防护绿地为主。
⑤自然灾害：极重要与高度重要的区域面积合计为 315.50km²，占比为 12.20%，主要分布于市区南部、西部的重点灾害防治区和北部的无源淹没区。

3.1.2 生态“源”的识别

对上述极重要与高度重要的空间分布要素进行识别，结合宣城市现状自然生态资源要素分布；最后加权叠加得出：宣城市生态源地总面积为 978.83km²；其中生态林地面积为 802.64km²，水域面积为 176.19km²，占生态源地总面积的比重分别为 82.00% 和 18.00%。识别出的生态源地主要包括宣城市南部溪口镇的国家级、省级公益林，东部水东镇的国家级公益林，中部夏渡森林公园、敬亭山森林公园、宛陵湖湿地公园及北部的南漪湖等区域。这些区域作为宣城市生态安全的底线控制区，必须严格禁止任何开发建设活动（图 3）。

3.1.3 最小累计阻力面的建立

依据最小累计阻力模型，构建出阻力面分布图后（图 4），可以看出最小累计阻力值分布状况为：宣城市中心城区与敬亭山交接地带、北部的南漪湖、五星等区域的阻力值呈现最高水平，该区域城镇建设较为集中、河湖水体密布，人类活动频率较高，在空间上呈现出带状的高阻力值格局，并对周边区域物种的扩散产生一定的负向滞后效应。宣城市北部的养贤、水阳和西北部朱桥、沈村区域的阻力值处于中等水平，该区域地势较为平坦，多以耕地为主，人类活动频率一般。宣城市南部的溪口和东部的古泉等区域的阻力值处于低与较低水平，在空间上形成集聚成片的格局，对周边物种扩散产生正向推动效应；主要因该区域地形地貌较复杂，地势较高，多为生态林地，人类活动足迹较少，所以生态源的扩散阻力值在该区域处于低谷状态。

3.1.4 生态安全格局分析

基于生态廊道选取的识别方法，识别出主要生态廊道为 229 条，次要生态廊道为 110 条，两类生态廊道总长约 8 108.54km；提取生态战略点共 35 处（图 5）。受地形地貌的特征影响，生态廊道多呈现出南北向的连接走向分布，但两点之间相互连接的空间网络化程度较低，不利于区域内生态源之间生态流、物种流、能量流、人口流的相互连接与扩散，因此需要在生态廊道网络化的基础上对区域空间进行优化，增强空间上生态资源连接度。

以生态系统服务重要性综合评价结果和最小累计阻力面分布为基础，识别不同重要性层级区、生态源地、生态廊道、生态战略点等数据要素，通过 GIS 进行叠加分析，构建出宣城市生态安全格局（图 6）。结果表明，生态高与较高安全区面积合计为 921.70km²，面积比重为 35.65%，主要分布于水阳江、青弋江和南漪湖等主要河湖水体和南部的生态林等区域；低与较低安全区面积合计为 1 170.76km²，面积比重

为 45.26%，主要分布于中部、北部的各城镇的加成区和水田、旱地等耕地区域。在空间上形成相对独立的空间组团布局模式，对城市内部的生态渗透与连接效应较差，城市中部、西部区域生态资源要素分布量较低，不利于区域生态的生物流动与空间流动。

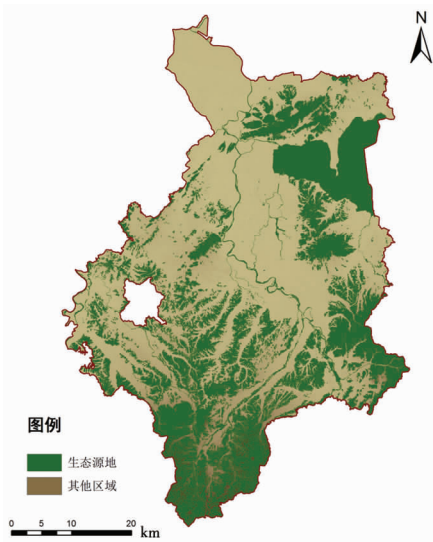


图 3 生态源地分布

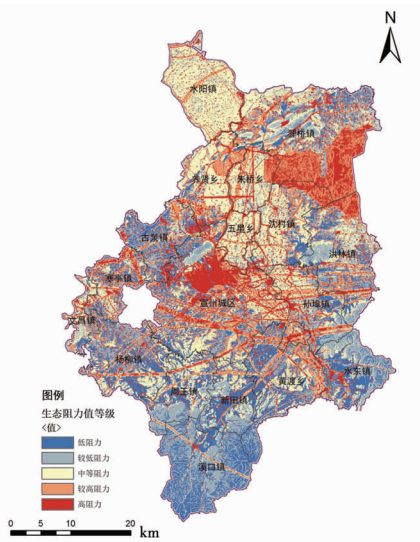


图 4 最小累计阻力面分布



图 5 生态廊道及战略节点选取

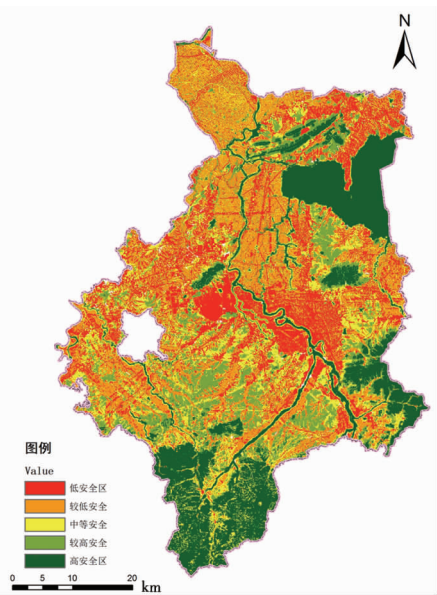


图 6 生态安全格局构建

3.2 空间结构与布局优化

3.2.1 构建“绿核+水廊+绿廊”结构，促进生态空间网络化

基于生态安全格局构建，结合宣城市自然资源、地形地貌特征及空间协同、耦合关联原理，进行空间优化，提出宣城市空间结构优化的主要思路是：以山、水、林、田、湖为主要基质，以森林公园、公益林及重要湿地构成生态绿核，以主要河流水系构成生态水廊，以区域主要道路、一般河流水系等构成生态绿廊。强化生态绿核点缀生态基质，注重生态廊道连通生态绿核，构建“绿核”、“水廊”、“绿廊”，形成多层次、网络化的生态空间结构（图 7），在空间上形成生态资源的集聚、渗透、连接等扩散效应。其中，

“绿核”包括南漪湖、敬亭山、麻姑山、朱湾、彩金湖、梅冲、夏渡森林公园及高立洪林场等绿核，是最核心的生态空间；“水廊”主要是依托水阳江、华阳河打造的水生态廊道；“绿廊”主要是依托山体、河流水系与主要道路构成的重点生态绿化廊道，包括梅冲—扬子鳄自然保护区—峰山森林公园、兰山—彩金湖、沪渝高速、青弋江大道等。

3.2.2 强化生态绿核的整体性保护，促进生态功能不断提升

针对土地利用现状，进行全面优化后以实行整体性保护，确定南漪湖绿核为 141.83km²、敬亭山绿核为 15.30km²、麻姑山绿核为 65.92km²、朱湾绿核为 21.24km²、彩金湖绿核为 14.47km²、梅冲绿核为 19.55km²、夏渡森林公园绿核为 278.99km² 及高立洪林场绿核为 95.36km²（图 8）。在空间上形成对周边区域产生渗透作用，增加城市的生态要素边缘扩散效应。以生态绿核覆盖地区作为城市生态建设发展的核心保护区，在城市空间扩展过程中实施最严格管控，坚持生态绿核空间内生态面积不减少、生态功能不降低；全面开展生态功能的修复工作，优先保护水生、野生动物重要栖息地，提高生态系统的完整性。

3.2.3 严格生态廊道的保护与建设，推进城市建成区的组团式拓展

以水阳江、青弋江、寒亭河、宛溪河等水生态廊道，和宣杭高速、镇宣铁路、S104、S206、S335 等重点生态绿化廊道为主，完善生态网络布局。其中，加强对水生态廊道、重点生态绿化廊道的网络沿线生态绿化用地建设，促进生态源之间的网络连通性，提升生态与物种的扩散与流动效应。基于空间布局结构，对生态用地进行优化布局，在城市空间拓展中加强生态廊道建设，尤其是中心城区的北部组团和东部组团，形成组团式空间布局，促进城市建成区向绿色低碳、生态宜居转变，最终实现自然生态与城市建设发展的和谐共生。在生态廊道建设中，以生态维护为重点，通过生态用地与乡村建设用地的整合，不断推进空间利用的整体优化。

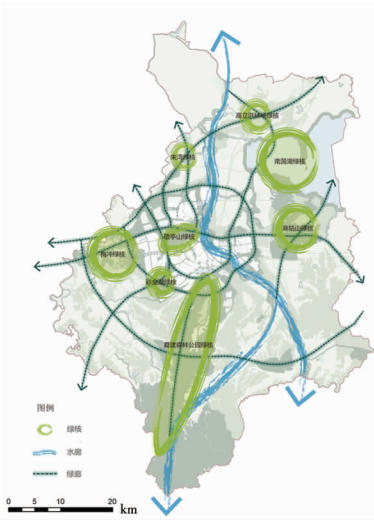


图 7 城乡空间结构

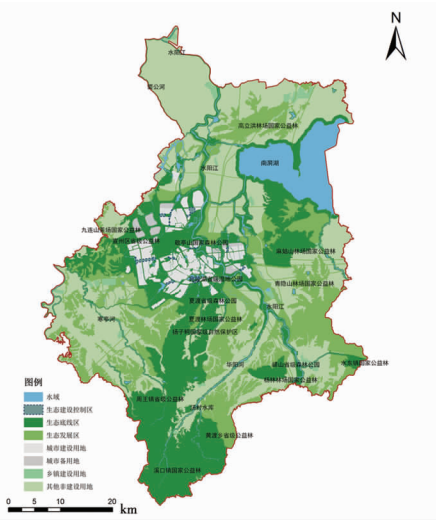


图 8 城乡空间优化布局

4 结论与探讨

该研究以宣城市为例，通过生态系统服务重要性评价、生态源地识别、最小累计阻力模型及廊道选取，进行生态安全格局构建，基于生态高与较高安全区的分布提出了城乡生态空间布局与优化方案，对研究区有序拓展城市发展空间、加强自然生态保护具有重要指导作用。研究表明：①研究区内生态系统极重要与高度重要区域呈现“组团布局、相对独立、连接性不强”的空间分布特征。②生态源的连接在城市建成区与大面积水体的区域最难。③遴选生态源地总面积为 978.83km²，连接形成 229 条主要生态廊道、110 条次要生态廊道、35 处生态战略点，能够显著提升生态空间连接性。④生态安全格局构建在空间

上可以有效落实生态优先理念,解决发展视角下城乡空间利用方案对生态系统保护不足的问题。

生态安全格局的研究多是针对现状用地进行生态敏感性评价和斑块识别,构建结果多是作为重要生态空间存在,缺少对城乡空间格局优化的具体落实。该研究以生态系统服务重要性评价和最小累计阻力面模型为基础,结合生态源地、生态廊道及生态战略点的识别,增加了研究区生态系统的连接性和完整性,明确提出了城乡生态空间优化方案。在研究中将 0.02km^2 以上的生态林地及河流水系作为生态源,未充分考虑到其他未利用地及果园、茶园等园地,是由于此类用地类型在空间上不具有相对扩散及收缩的能力。因此,在城乡空间拓展与利用中,在有条件的地区将未利用地和园地转化为生态用地,将有利于提升区域生态系统的完整性。同时,对于规模较大的生态空间,在不破坏生态功能的前提下适当进行复合利用,适当引入文化设施、教育科研及社会福利等功能,有利于提升生态空间活力、丰富空间景观层次。

在生态系统服务重要性评价中采用“最小限制定律”与加权叠加结合的方法,削减了评价因素的单方面影响,以形成整体叠合效应。但评价因子侧重于地形地貌、水文资源、土壤覆被、生态资源、自然灾害等方面,客观性、全面性及其之间的相关性还需进一步验证。另外,该文还未对研究区内的生物多样性空间分布进行分析,有待后续深入研究探索,以期提出更为科学的城乡空间优化方案,指导城乡空间有序拓展、生态空间持续增效。

参考文献

- [1] Liu J G, Mooney H, Hull V, Davis S J, Gaskell J, Hertel T, Lubchenco J, Seto K C, Gleick P, Kremen C, Li S X. Systems integration for global sustainability. *Science*, 2015, 347 (6225): 1258832.
- [2] Dong S K, Kassam K S, Tourrand J F, Boone R B. Building Resilience of Human-Natural Systems of Pastoralism in the Developing World: Interdisciplinary Perspectives. New York: Springer, 2016.
- [3] Zebardast L, Salehi E, Afrasiabi H. Application of DPSIR framework for integrated environmental assessment of urban areas: A case study of Tehran. *International Journal of Environment Research*, 2015, 9 (2): 445–456.
- [4] Skondras N A, Karavitis C A. Evaluation and comparison of DPSIR framework and the combined SWOT-DPSIR analysis (CSDA) approach: Towards embracing complexity. *Global Nest Journal*, 2015, 17 (1): 198–209.
- [5] 苏泳娴, 张虹鸥, 陈修治, 等. 佛山市高明区生态安全格局和建设用地扩展预案. *生态学报*, 2013, 33 (5): 1524–1534.
- [6] 黄隆杨, 刘胜华, 方莹, 等. 基于“质量—风险—需求”框架的武汉市生态安全格局构建. *应用生态学报*, 2019, (2) 1–15.
- [7] 潘竟虎, 刘晓. 基于空间主成分和最小累积阻力模型的内陆河景观生态安全评价与格局优化——以张掖市甘州区为例. *应用生态学报*, 2015, 26 (10): 3126–3136.
- [8] 于成学. 基于“3S”技术的生态安全评价研究进展. *华东经济管理*, 2013, 27 (4): 149–154.
- [9] 杜悦悦, 胡熠娜, 杨咏, 等. 基于生态重要性和敏感性的西南山地生态安全格局构建——以云南省大理白族自治州为例. *生态学报*, 2017, 37 (24): 8241–8253.
- [10] Wang J T, Peng J, Zhao M Y, Liu Y X, Chen Y Q. Significant trade-off for the impact of Grain-for-Green Programme on ecosystem services in North-western Yunnan, China. *Science of the Total Environment*, 2017, 574: 57–64.
- [11] Peng J, Du Y Y, Liu Y X, Hu X X. How to assess urban development potential in mountain areas, An approach of ecological carrying capacity in the view of coupled human and natural systems. *Ecological Indicators*, 2016, 60: 1017–1030.
- [12] 高永年, 高俊峰, 韩文权. 基于生态安全格局的潮州市城乡建设用地空间管制分区. *长江流域资源与环境*, 2011, 20 (12): 1446–1453.
- [13] 张莹莹, 李静, 程亚鹏. 青龙满族自治县景观生态安全格局研究. *中国农业资源与区划*, 2017, 38 (6): 77–84.
- [14] 王思易, 欧名豪. 基于景观安全格局的建设用地管制分区. *生态学报*, 2013, 33 (14): 4425–4435.
- [15] 闫玉玉, 曹宇, 谭永忠. 基于景观安全格局的县域生态用地保护研究——以浙江省青田县为例. *中国土地科学*, 2016, 30 (11): 78–85+97.
- [16] 殷杰, 郑向敏. 长江经济带旅游产业生态系统安全评估与安全格局研究. *华东经济管理*, 2017, 31 (4): 60–65.
- [17] Xu Q L, Yang K, Wang G L, Yang Y L. Agent-based modeling and simulations of land-use and land-cover change according to ant colony optimization: a case study of the Erhai Lake Basin, China. *Natural Hazards*, 2015, 75 (1): 95–118.
- [18] Qiang Y, Lam N S N. Modeling land use and land cover changes in a vulnerable coastal region using artificial neural networks and cellular automata. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2015, 187 (3): 57–57.
- [19] 焦红, 汪洋. 基于 PSR 模型的佳木斯市土地生态安全综合评价. *中国农业资源与区划*, 2016, 37 (11): 29–36.

- [20] 蒙吉军, 燕群, 向芸芸. 鄂尔多斯土地利用生态安全格局优化及方案评价. 中国沙漠, 2014, 34 (2): 590–596.
- [21] Brand U, Vadrot A. Epistemic selectivities and the valorisation of nature: The cases of the Nagoya protocol and the intergovernmental science-policy platform for biodiversity and ecosystem services (IPBES). Law, Environment and Development Journal, 2013, 9 (2): 202–220.
- [22] Zhang Xiaorui, Wang Zhenbo, Lin Jing. GIS Based Measurement and Regulatory Zoning of Urban Ecological Vulnerability. Sustainability, 2015, 7 (8): 9924–9942.
- [23] YE Yuyao, SU Yongxian, et al. Construction of an ecological resistance surface model and its application in urban expansion simulations. Journal of Geographical Sciences, 2015, 25 (2): 211–224.
- [24] 张利, 周亚鹏, 门明新, 等. 基于不同种类生态安全的土地利用情景模拟. 农业工程学报, 2015, 31 (5): 308–316.
- [25] 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.
- [26] 吕贤军, 李锐, 李志学. 城市群地区城乡生态空间保护与利用研究——以长株潭生态绿心地区为例. 城市发展研究, 2013, 20 (12): 82–87.
- [27] 陈永林, 谢炳庚, 钟典, 等. 基于微粒群—马尔科夫复合模型的生态空间预测模拟——以长株潭城市群为例. 生态学报, 2018, 38 (1): 55–64.
- [28] 陈玲, 张妮, 沈一. 四川省华蓥市生态空间格局研究. 中国园林, 2017, 33 (7): 108–112.
- [29] 王智勇, 李纯, 黄亚平, 等. 城市密集区生态空间识别、选择及结构优化研究. 规划师, 2017, 33 (5): 106–113.
- [30] 贺丹, 陈彩虹, 余济云, 等. 基于生态阻力面综合构建法的三亚市景观格局分析. 中南林业科技大学学报, 2017, 37 (6): 83–88.

URBAN AND RURAL ECOLOGICAL SPACE LAYOUT AND OPTIMIZATION BASED ON ECOLOGICAL SECURITY PATTERN* ——TAKING XUANCHENG CITY AS AN EXAMPLE

Ma Ming^{1*}, Gu Kangkang¹, Li Yong²

(1. College of Architecture and Planning, Anhui Jianzhu University, Hefei, Anhui 230022, China;

2. HFUT Design Institute (Group) Co., Ltd., Hefei, Anhui 230001, China)

Abstract To construct an ecological security pattern and optimize the layout of urban and rural ecological space, which plays an important role in improving the ecological environment carrying capacity and promoting the coordinated development of ecology and economy. Taking Xuancheng city as an example, this research used the spatial superposition technology of ArcGIS to identify the main ecological source through the evaluation of ecosystem service value. And moreover, it selected the ecological strategy point and ecological corridor distribution by the minimum cumulative resistance model (MAC). In addition, it constructed a safety pattern and optimized the layout of urban and rural ecological space in Xuancheng City. The major results are showed as follows. First, the area of extremely important and highly important areas of ecology is 918.78km², accounting for 35.53% of the total area. Second, the total area of ecological source land is 978.83km², accounting for 37.85% of the total area. Third, the selected ecological corridors shows a north-south connection trend distribution, but the interconnected space between the two points is less networked, and the ecologically high and high security area is 921.70km², accounting for 35.65% of Xuancheng district. Finally, optimize and form a multi-level, networked Xuancheng urban and rural ecological space structure of "Green Core + Water Gallery + Corridor" and further optimize the spatial layout. This research can provide scientific reference for constructing ecological security pattern, ensuring urban ecological security, and optimizing urban and rural ecological space layout.

Keywords ecological security pattern; urban and rural ecological space; resistance model; optimize layout; Xuancheng city