

doi: 10.7621/cjarrp.1005-9121.20200132

· 资源利用 ·

# 区域景观格局视角的绿地生态网络优化研究<sup>\*</sup>

## ——以徐州为例

汤姚楠<sup>1, 2\*</sup>, 王佳<sup>1</sup>, 周伟奇<sup>1</sup>

(1. 中国科学院生态环境研究中心/城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085;

2. 中国城市建设研究院有限公司, 北京 100120)

**摘要** [目的] 基于景观格局演变的区域绿地生态网络与生态功能优化研究是景观生态学研究的热点领域之一。[方法] 文章以徐州示范为例, 在城市研究区景观格局演变及其异质性研究分析基础上, 探索城市规划区城乡绿地景观格局的优化路径; 运用经济学与生态学原理, 按“山水林田湖草”一体化理念, 以区域生态系统服务优化及人与自然和谐发展为前提, 从市域与城市规划区视角, 合理配置城乡绿地生态网络景观组分, 进而优化区域绿地生态网络。[结果] 研究得出2005—2015年研究范围城市化造成大量耕地消失, 城市建设用地快速增加, 随着生态园林建设的快速推进, 林地面积占比大幅度增加; 地表覆被变化直接表现为景观格局的快速破碎化和景观多样性的下降, 景观类型的丰富度和复杂度急需提高, 景观多样性指数、景观均匀度指数也均呈现较为明显的下降趋势。同时, 重点提出了强化景观格局与过程的完整性与连通性, 挖掘潜在生态功能等的区域绿地生态网络一系列优化方案。[结论] 文章为研究区及延伸的城乡区域绿地生态网络构建和生态系统服务优化提供了科学的依据、方法与途径。

**关键词** 生态网络优化 生态功能 完整性与连通性 景观格局 城乡区域视角

中图分类号: Q149 文献标识码: A 文章编号: 1005-9121[2020]01259-10

## 0 引言

近些年城市化与绿色化的地表覆被变化直接表现为景观格局时空变化。以景观生态学的方法研究城乡区域土地利用覆盖变化, 以及伴随的城乡区域生态绿地网络与生态系统服务优化研究是景观生态学与生态学研究的热点领域。

对于城乡绿地生态网络, 目前学术界的定义未达成统一, 但根据相关研究可总结为: 城乡绿地生态网络是指基于景观生态学原理<sup>[1]</sup>, 以人为本<sup>[2]</sup>, 连接城乡各类开放空间<sup>[3]</sup>, 集生态、文化、娱乐为一体<sup>[4]</sup>, 保护生物多样性<sup>[5]</sup>, 减缓绿地破碎化<sup>[6-7]</sup>, 提升生境斑块之间的连接<sup>[8-9]</sup>, 维持城乡生态平衡<sup>[10]</sup>, 促进生态系统服务发挥最大效能<sup>[11]</sup>的多功能网络体系。

目前学术界对于城乡生态网络优化的相关研究, 主要集中在加强城乡绿地生态网络的连通性、强化城乡绿地生态网络系统性与完整性、城乡自然社会经济发展一体化与生物多样性保护3个方面, 研究主要应用最小累积阻力模型(MCRM)、分离度指数、连通性指数、聚合度指数等方法。

加强城乡绿地生态网络的连通性的相关研究, 主要侧重优化城乡空间斑块连通性<sup>[12]</sup>、探索潜在的生态廊道, 如: 张远景等<sup>[13]</sup>计算了哈尔滨中心城区生态网络连接度并模拟优化了城市绿地生态网络; 郭微等<sup>[14]</sup>基于景观连通性定量评价方法确定绿地系统核心斑块, 对佛山市顺德区绿地生态网络各组分的景观格局特征进行了分析; Marulli等<sup>[15]</sup>通过生态连接性指数和屏障效应指数评价了巴塞罗那大都市区的城

收稿日期: 2019-09-19

作者简介: 汤姚楠(1982—), 男, 北京人, 博士。研究方向: 生态学、生态经济、资源经济、农业经济。Email: tangem@126.com

\* 资助项目: 徐州人民政府委托项目“徐州生态园林城市建设综合效益评价研究”(C17Y16243); 中国科学院“一三五”重点培养项目“城市生态系统格局、过程与调控”(YSW2013B04)

乡景观连通性与绿地生态网络；孙逊等<sup>[16]</sup>通过对绿地生态网络概念与规划建设技术的研究，着重从自然景观保护与恢复的角度阐述了绿地生态网络构建规划的基本规划流程、规划要点，提出了城乡绿地生态网络构建中的问题与对策。

强化城乡绿地生态网络系统性与完整性的相关研究，强调各个生态节点的相互作用<sup>[17]</sup>，如：Laita 等<sup>[18]</sup>发现生态节点的特征与变化将影响城市生态网络功能的发挥；熊建新<sup>[19]</sup>分析了西洞庭湖区常德市生态网络的完整性，并提出了优化方案；唐昌君等<sup>[20]</sup>对长河镇绿地景观格局进行分析，定性评价绿地斑块组成及破碎化程度，通过分析不同网络预案廊道数量、长度和密度指标和网络闭合度评价，确定最优的生态绿地网络优化方案；吴榛等<sup>[21]</sup>分析构建了扬州市绿地生态网络体系，并基于重力模型和廊道曲度指数对生态网络结构的分析，提出扬州市生态网络优化建议；殷炳超等<sup>[22]</sup>构建闽三角地区的生态网络并评价了其完善度；Liu 等<sup>[23]</sup>通过对城市绿地生态网络系统结构和功能的分析，提出了通过调整各分区之间的关系来优化城市系统结构的方法，并论证了生态网络分析在城市系统研究中的应用。

城乡自然社会经济发展一体化与生物多样性保护方面的相关研究，主要侧重在减少人类活动对对生态系统稳定性的影响、将人与自然和谐发展融入国土空间规划与管理<sup>[24]</sup>，如：卿凤婷等<sup>[25]</sup>采用最小费用模型来定量表征模拟潜在廊道，对北京顺义区的生态网络进行优化，构建了自然—经济相耦合的复合生态网络；Li 等<sup>[26]</sup>用最小累积阻力模型计算了长三角地区满足社会经济发展和生态保护需要的生态用地数量，对生态用地和建设用地的来源、生态系统服务功能和阻力面进行了评价；Baguette 等<sup>[27]</sup>在研究中提出：在分析景观连通性的时空变化构建生态网络时，应使用遗传工具评估给定景观中种群间的基因流强度和方向，并准确评估影响基因流的景观特征；Armaiz 等<sup>[28]</sup>采用城乡梯度框架对西班牙马德里地区的社会生态网络结构，根据城市居民的物理和社会经济耦合程度以及不同的景观结构和社会福利指标，识别了受城市剧烈转型和农田大幅减少影响高的地区。

综上，当前国内外学术界有关城乡生态绿地网络优化的研究，尤其是国内方面的研究，还存在着概念不统一、评价体系不够完善、时空对比分析不足、综合分析不够系统等问题，但就城乡规划建设与管理的重要指引及促进生态系统服务价值最大化的重要途径而言，城乡绿地生态网络优化的重要意义，以及相关研究还需进一步深入已成共识。

文章以徐州示范为例，在研究区景观格局演变及其异质性研究分析基础上，研究探索相关城乡区域景观格局视角的绿地生态网络优化。包括通过对区域景观格局演变及其异质性研究分析，从景观生态学的角度，探讨城乡区域绿地景观格局的优化路径；提出运用经济学与生态学原理，以区域生态系统功能及人与自然和谐发展为前提，合理配置城乡绿地生态网络景观组分；分别从市域与城市规划区景观格局视角，优化城乡绿地景观格局与过程的完整性和连通性；同时应用景观生态学基本原理，进而探索与思考运用“山水林田湖草”一体化理念引领与统筹城乡区域绿地生态网络优化及其潜在生态功能的挖掘。

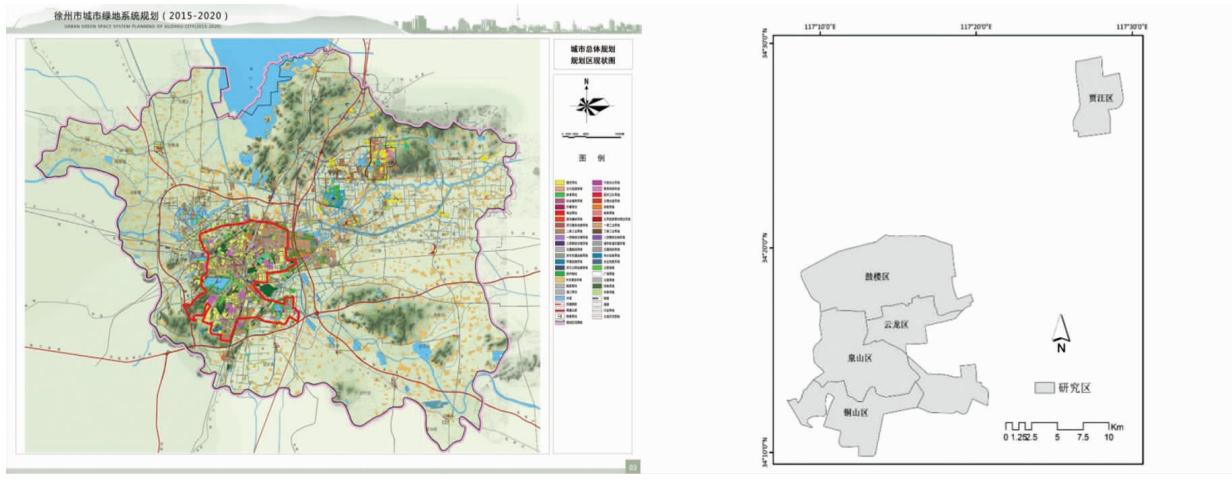
## 1 研究区

研究区为 2013 年徐州市建成区。研究范围包括泉山区、云龙区、鼓楼区、铜山区、贾汪区的建成区共 253 km<sup>2</sup>，其中市区建成区 227.9 km<sup>2</sup>，贾汪城区建成区 25.1 km<sup>2</sup>（图 1）。

2005—2015 年徐州研究范围大量耕地因城市化用地性质转变而消失，城市建设用地快速增加；随着 10 年生态园林建设的快速推进，林地面积比例大幅度增长。同时，景观格局发生着快速的破碎化过程，景观的多样性下降，绿地景观类型的丰富度和复杂度急需提高；景观多样性指数、景观均匀度指数均呈现较为明显的下降趋势，存在较大的聚集性斑块如山林地的同时，破碎的小斑块大量存在。

## 2 数据来源与土地覆盖类型转变转移矩阵

该文以 2005 年、2015 年遥感影像作为研究的基础数据，2005 年 5 月 Quickbird 多光谱数据，全色分辨率 0.6 m，2015 年 5 月 WorldView II 数据，全色分辨率 0.5 m。



a. 2015年规划区及市区研究范围现状

b. 研究范围五大行政区

图1 研究区示意图

2005—2015年是徐州市创建生态园林城市建设取得很大成效的10年，也是快速城市化的10年，土地覆盖类型、城市景观格局发生了快速的、标志性的变化，体现在研究范围大量耕地因用地性质转变的消失与城市建设用地的快速增加；同时，随着10年生态园林建设的快速推进，创建生态园林城市建设取得很大成效，徐州市区园林绿地面积比例大幅度增长。

2015年遥感解译结果显示，城市建设用地、林地依然是徐州市区研究范围的主要土地覆盖类型。其中，徐州市区研究范围城市建设用地面积达到1.2万hm<sup>2</sup>，占徐州市区研究范围总面积的52.69%。其次，徐州市区研究范围林地面积相对于2005年大面积增加，占比增加到40.25%，总面积为9 176.47hm<sup>2</sup>，林地面积增加了2 672.37hm<sup>2</sup>。河湖湿地面积占徐州市区研究区范围总面积的4.98%，相比于2005年没有发生大的变化。此外，徐州市区研究区范围存在相对较小面积的园地、草地等土地覆盖类型（图2）。

由表1可见，徐州市区土地覆盖类型转移矩阵结果显示，城市化耕地消失，其中2 132.89hm<sup>2</sup>转变为城市建设用地，其次，生态园林城市建设有1 487.93hm<sup>2</sup>转变为林地；随着徐州市城市发展的绿色转型与生态修复，徐州市区研究范围采石采矿用地已经全部消失，其中，有23.74hm<sup>2</sup>得到生态修复，转变为林地，另外，20.55hm<sup>2</sup>转变为裸地，17.08hm<sup>2</sup>已经转变为城市建设用地；10年生态园林建设取得了很好的成效，林地面积大量增加，其中有1 487.93hm<sup>2</sup>由耕地转变而来、1 333.05hm<sup>2</sup>由城市建设用地转变而来。表2中，可见贾汪区研究范围耕地大量消失，主要转变为城市建设用地，转移面积为310.64hm<sup>2</sup>，另有101.65hm<sup>2</sup>的面积转移为林地；采石采矿用地也完全消失，主要转变为城市建设用地，转移面积为6.14hm<sup>2</sup>，有5.90hm<sup>2</sup>的采石采矿用地得到生态修复，转移为林地。

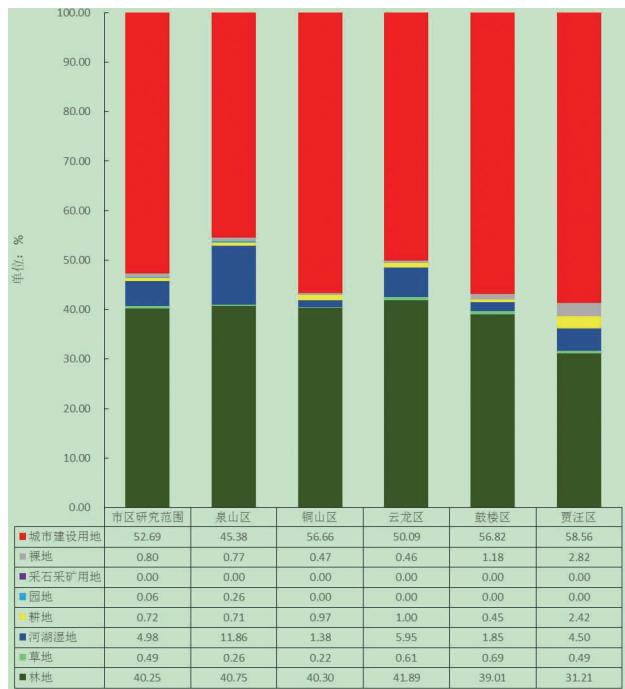


图2 2015年徐州市区研究范围各类土地覆盖类型面积比

表 1 2005—2015 年徐州市区研究范围土地覆盖类型转变矩阵

hm<sup>2</sup>

2015									
	地类	林地	草地	河湖湿地	耕地	园地	采石采矿用地	裸地	城市建设用地
2005	林地	5 500.00	12.06	26.03	6.80	0.00	0.00	11.70	947.58
	草地	82.34	21.53	2.11	0.00	0.00	0.00	0.00	112.31
	河湖湿地	99.71	1.74	963.75	1.46	0.00	0.00	0.14	67.87
	耕地	1 487.93	38.29	98.24	145.50	2.86	0.00	22.42	2 132.89
	园地	0.09	0.43	1.65	0.00	10.88	0.00	0.00	4.44
	采石采矿用地	23.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.55	17.08
	裸地	649.61	8.01	10.90	0.01	0.00	0.00	23.59	252.76
	城市建设用地	1 333.05	29.05	33.33	10.73	0.18	0.00	105.03	8 477.34

表 2 2005—2015 年徐州市贾汪区研究范围土地覆盖类型转移矩阵

hm<sup>2</sup>

2015									
	地类	林地	草地	河湖湿地	耕地	采石采矿用地	裸地	城市建设用地	
2005	林地	396.70	3.45	21.68	5.64	0.00	8.35	196.16	
	草地	0.52	5.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29	
	河湖湿地	14.89	0.11	65.65	0.04	0.00	0.77	8.65	
	耕地	101.65	2.16	7.06	50.72	0.00	23.05	310.64	
	采石采矿用地	5.90	0.06	1.08	0.00	0.00	3.53	6.14	
	裸地	39.43	0.46	2.17	0.00	0.00	2.63	93.93	
	城市建设用地	225.16	0.95	15.52	4.47	0.00	32.50	855.80	

### 3 研究结果及分析

#### 3.1 景观异质性研究结果分析

2005—2015 年市区研究范围景观格局空间变化有以下特征。

(1) 平均斑块面积、斑块密度呈现较为显著的斑块破碎化，景观格局发生着快速的破碎化过程。平均斑块面积从 4 073.07m<sup>2</sup> 下降到 3 265.92m<sup>2</sup>，斑块密度从 245.52 个/km<sup>2</sup> 增加至 306.19 个/km<sup>2</sup>，其中鼓楼区破碎化较为严重，平均斑块面积迅速下降，从 3 794.35m<sup>2</sup> 下降到 2 747.78m<sup>2</sup>。斑块密度从 263.55 个/km<sup>2</sup> 增加到 363.93 个/km<sup>2</sup>，城市化过程中，鼓楼区景观破碎更加明显。而贾汪区研究范围平均斑块面积从 1 890.93m<sup>2</sup> 上升到 2 421.74m<sup>2</sup>，斑块密度明显下降，从 528.84 个/km<sup>2</sup> 降低至 412.93 个/km<sup>2</sup>，景观格局则发生了一定程度的聚集。

贾汪区外研究范围的边界密度有一定程度的增加，从 102.76km/km<sup>2</sup> 增加至 122.09km/km<sup>2</sup>。其中，鼓楼的边界密度增加最快，从 101.34km/km<sup>2</sup> 增加至 137.86km/km<sup>2</sup>，揭示景观或类型被边界较多分割，景观连通性不足。

(2) 景观多样性指数，从 1.37 下降至 0.96。景观多样性指数最高的区域为泉山区，与其丰富水体有关。上述说明研究区范围各景观类型所占比例的差异增大，景观的多样性下降，绿地景观类型的丰富度和复杂度有待提高。

多样性导致稳定性的生态学原理强调生态系统的结构愈多样复杂则其抗干扰的能力愈强，也更易保持其动态平衡的稳定结构。在城市绿地系统中，提高景观类型的丰富度和复杂度，相关物种的多样、群落的丰富等都有利于增加生物景观多样性、促进生态系统的稳定。

同时，景观异质性越大、类型越多、防止外来干扰的能力也就越强，生态系统因而就更加稳定。通过提高绿地景观类型的丰富度和复杂度，各种不同类型、不同功能的绿地形式的广泛共存，注重每块绿地的

个性特征,可以增加区域绿地系统的景观异质性。

(3) 景观均匀度指数呈现下降趋势,从0.66下降至0.49。从2005—2015年,贾汪区研究范围景观均匀度指数也有明显下降,从0.70下降至0.58。分析表明研究范围景观中存在优势斑块如城市建设用地和林地,景观中各斑块不均匀分布。

同时,景观多样性指数、景观均匀度指数均呈现较为明显的下降趋势,即2005—2015年的变化中,徐州市区研究范围景观尺度下,斑块面积大小分布越来越不均匀,存在较大的聚集性斑块如山林地的同时,破碎的小斑块大量存在。

伴随着快速的城市化进程与生态园林建设的步伐,研究范围景观格局发生了快速的转变。平均斑块面积逐渐变小,斑块密度增加,边界密度增加,意味着徐州市区研究范围的景观格局发生着快速的破碎化过程。同时,景观多样性指数、景观均匀度指数均呈现较为明显的下降趋势,即2005—2015年的变化中,徐州市区研究范围景观尺度下,斑块面积大小分布越来越不均匀,存在较大的聚集性斑块的同时,破碎的小斑块大量存在。

市区不同区的对比发现,鼓楼区、云龙区、泉山区景观破碎化现象较为明显;贾汪区景观格局变化则不一样,10年以来,发生了一定程度的聚集。

### 3.2 景观格局演变对生态绿地网络建设的作用影响分析

#### 3.2.1 景观格局演变的特色资源形成及生态系统服务价值增长

大片城郊湿地、生态修复的大型宕口与不少的湖泊湿地景区成为徐州城市环境提升的特色资源;生态园林城市建设景观格局时空演变,大片森林、城市绿地、城郊湿地、废弃矿区宕口生态修复的大型山水绿地与不少采煤塌陷的湖泊湿地,以及河湖水域使得生态系统服务价值明显增长,也为徐州作为徐州都市圈核心城市、淮海经济区中心城市,以及大都市的绿地生态网络建设奠定了高起点、高标准的发展基础。

#### 3.2.2 “山水林田湖草”理念引领与统筹城乡绿地生态网络建设

研究范围10年土地覆盖空间的演变,集中反映城市生态系统的主导作用更加突出。由此,在城乡生态平衡中,“山水林田湖草”作用将更为突出。“山水林田湖草生命共同体”对城乡区域生态格局与生态系统服务优化也有更高的要求。以“山水林田湖草”理念引领与统筹城乡绿地生态网络建设,强调结构布局、自然地貌、河湖水系与城市功能分区的协调,从整个城市—城郊—城乡生态环境考虑合理布局,注重通过把城郊自然引入城市,以及山水林田湖草生命共同体与城的有机结合,维护生态平衡。

#### 3.2.3 景观格局演变对绿地生态网络建设及生态服务价值的作用与影响

(1) 城市绿地生态系统服务价值是基于作用载体城市人群与社会体现的,前述2005—2015年,徐州城市建设用地是景观中存在的最大优势斑块。城市人口与用地规模变化将进一步体现人群与城市社会在绿地生态网络生态系统服务价值最大化中的作用与影响。

(2) 以林地为优势斑块和云龙湖为代表的大型水体集中分布的生态网络,以及包括微山湖生态湿地保护区、潘安湖湿地公园、大黄山郊野公园等在内的城市—城郊—城乡生态网络景观组分及景观格局空间配置在生态系统服务功能与综合效益中将起到重要影响,特别是在生态效益方面更为突出。

(3) 平均斑块面积、斑块密度呈现较为显著的斑块破碎化特征,以及景观连通性、异质性的不足,影响生态系统服务功能与综合效益最大化。重视城乡绿地生态网络化建设、强化生态网络景观连通性、完整性,保持生态系统的连续性和生物多样性,将是进一步挖掘绿地生态系统潜在服务效能和综合效益的重要途径,也是生态文明城市建设和社会经济可持续发展的重要举措。

### 3.3 城乡绿地生态网络优化

#### 3.3.1 人与自然和谐合理配置的格局优化

城市城郊复合生态系统内各亚系统的相互关系与相互作用方式以及产业布局决定城市城郊区域社会经济发展特征。运用经济学与生态学原理,以城乡区域生态功能的完整性,以及人与自然和谐为基础,合理配置生态网络景观组分,有利解决好人与自然和谐的共生关系,促使城乡区域经济活动与自然过程的

协同。

景观格局和生态系统服务功能密切相关，城市化进程景观破碎化对城市生态系统功能产生了严重影响，城乡生态源地和廊道之间的生态连通性是保持生物多样性的关键。结合徐州绿地系统规划对徐州规划区范围绿地生态网络景观格局与过程的完整性连通性进一步提出以下优化方案：

(1) 市域视角的优化。市域规划区视角的绿地景观格局与过程的完整性连通性优化，包括防护绿带生态廊道—城市东西方向沿河周边重要绿地斑块，以及沿故黄河和沿大运河二侧景观带西北方向切入、东方向出口延伸，规划两侧为各宽 100m 左右的防护绿带生态廊道，连通城市东西方向沿河周边重要绿地斑块；东向延伸市域旅游重要廊道；水系路网生态廊道连通二侧周边用地绿地斑块，其中，铁路绿廊各设宽 50~100m 防护绿带；奎河两侧各设宽 30~50m 防护绿带，其他小型河道两侧根据实际用地情况各设宽 10~30m 防护绿带；“西气东输”运输管线绿化走廊宽度控制≥50m。

(2) 城市规划区视角的优化。通过贯穿城乡成网成片的生态绿地及廊道植被，为城区内外物种的交流创造良好的通道；结合城市秋冬季节东北、西北主导风向，西南次风向，春夏季节东、东南方向主导风向，布局清风廊道；结合徐州城市绿地系统规划结构，布局建立城市规划区生态廊道系统；强化故黄河和京杭大运河滨水两带绿地及生态廊道建设，形成规划区内城乡蓝绿辉映的生态锦带；通过营建从城郊向城区东北、东南、西南、西北四个方向楔入的大型山林绿地和生态湿地，连通城市城郊绿地并渗透到城市中心，为城区提供兼具生态过渡功能与休闲游憩功能的绿色景观渗透带和主要开敞空间格局；外环、环城、三环三路绿色环带生态廊道，强化规划区的环带绿地空间结构，以及绿地系统内外联系和交融。

(3) 生态绿地网络视角优化。在 GIS 生态廊道与潜在生态廊道连通性现状分析基础上、提出生态绿地网络网络视角优化，从充分发挥郊外微山湖、潘安湖重要生态湿地、吕梁山风景旅游区，九里塌陷区森林郊野公园、大黄山森林郊野公园等重要绿地资源引入城区的作用，进一步优化城市规划区绿地生态系统与生态廊道系统，挖掘绿地生态网络潜在生态功能，提出以下生态网络优化方法与实施设想。

①打通西南—东北生态大通道。重点打通自城郊的光山连接城区云龙湖风景区并延伸到东北大黄山森林郊野公园、潘安湖生态湿地公园的西南—东北生态大通道，包括狮子山绿地组团—杨山防护林带生态走廊、拓宽杨山防护林带—大黄山森林郊野公园通道、预留大黄山森林郊野公园—潘安湖湿地公园的沿河、沿路大通道。

②预留与拓宽沿东南—西北古黄河生态大廊道。自东南城郊吕梁山风景区西连大龙湖绿地片区沿东南—西北古黄河生态大廊道，包括预留大龙湖与吕梁山风景区 100~200m 的通道；拓宽城区西北古黄河生态大廊道与九里山、九里湖绿地片区连接廊道。

③规划微山湖生态湿地保护区公园—九里湖郊野森林公园、大黄山湿地公园—潘安湖湿地公园连片廊道。

④在原规划基础上，构建完善野生动植物就地保护和迁地保护体系。

⑤规划区清风廊道布局融合城市、城郊生态大通道。

### 3.3.2 绿地生态网络生态功能优化

景观生态学基本原理应用的生态系统功能优化。基于整体性和系统性的生态学原理应用，针对徐州市区研究范围平均斑块面积、斑块密度呈现较为显著的斑块破碎化特征，绿地生态网络视角的绿地规划重点在于把城市开敞的绿色空间连成网络，减少绿地的孤立状态，保留并建设大块的绿地，从而有利发挥较大的绿地的抗干扰能力和边缘效应。强调城市规划区绿地系统的结构布局形式与自然地貌和河湖水系的协调，以及与城市功能分区的关系，着眼于整个城市规划区生态环境与绿地系统的合理布局，维护城市的生态平衡。

(1) 景观结构和功能优化。城乡区域绿地系统景观元素所形成的结构，决定景观要素和景观组分间的相互作用及景观功能。景观生态学要求城市规划区的斑块、廊道及基质应合理分布，基于廊道必须有足够的宽度才能发挥一定的作用，规划应预留从微山湖等重要自然生态斑块引向城市的主要廊道控制宽度

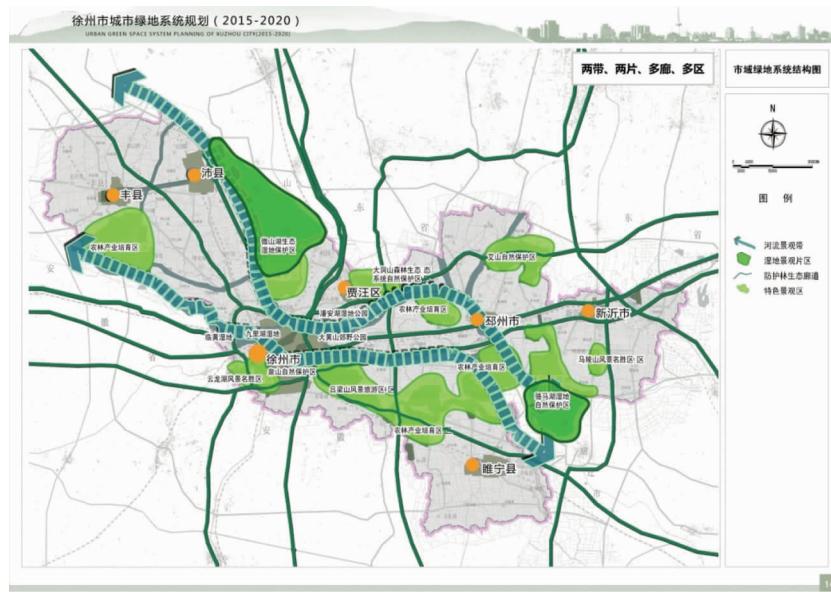


图3 徐州市域绿地系统结构

资料来源：原徐州市市政园林局

100~200m。值得指出，在城市城郊绿地系统中，网络状绿色廊道组成的骨架有机地连接不同地段、不同尺度的绿地，直接影响着城市规划区绿地生态网络与过程的完整性、连通性，以及网络结构功能，也直接关联生物多样性保护和城市娱乐、游憩场所的整体功能优化。

(2) 景观异质性优化。研究表明景观异质性越大、类型越多、防止外来干扰的能力也就越强，生态系统也更加稳定。针对研究范围的景观异质性不足，提出各种不同类型、不同功能的绿地形式的广泛共存，以及增加绿化树种，注重每块绿地的个性特征，强化城市绿地生态系统的景观异质性。

(3) 生物多样性优化。景观生态学为城市生物多样性保护提供新视角，更加侧重于生物生境等高组织层次的保护，通过合理调控现有的景观生态系统和新的景观格局来保护景观的生物多样性。随着生物保护战略目标由物种途径转向区域景观途径，针对研究范围的景观的多样性下降，通过建立泉山公园等自然保护区中绝对保护的栖息地核心区；适当增加景观异质性；在关键性部位引入或恢复乡土景观斑块；建立物种运动的“跳板（stepping stone）”连接破碎生境斑块；改造生境斑块之间的质地；减少景观中的硬性边界频度以减少生物穿越边界的阻力等方面强化生物多样性保护。

(4) 基于景观变化原理的生态系统平衡优化。在生态园林绿地系统建设中，采取适度干扰积极从城市外引进能量、物质、信息，以期达到城市生态系统的稳定性，通过城市规划区绿地系统组成与配置的合理格局，使其生产的物质能量、氧气能量最大限度的接近城市所消耗的能量，进而达到生态系统平衡。

(5) 绿地景观文化效益优化。充分挖掘城市规划区自然与文化特色资源利用价值，提升绿地景观文化效益。通过绿地景观反映一定时期下人们的经济价值、精神价值、伦理价值、美学价值等各种价值观，表达人类对环境的认识、感知、信念等文化内涵，形成具有特色的文化氛围，既满足了人们的精神文化需求，又有人们生活更丰富更有意义的城市灵魂。

绿地生态网络规划的生态服务潜在功能挖掘。市域与城市规划区城乡范围生态绿地网络规划优化是绿地生态系统潜在功能挖掘的重要手段。

(1) 城市规划区的城乡协同发展整体景观格局潜在功能挖掘。城市规划控制区包括城市、城郊和乡村。景观生态学认为，在城市和乡村生态子系统或景观元素的边缘，往往能流和物流更活跃，物种更丰富、生产力更高。在城郊与乡村的自然状态下森林、农田及水体的边缘，通常是生物群落最丰富地方，也

是生态系统服务与生态效益最高与最有潜在功能可挖掘的地段。

(2) 市域规划区绿色空间布局优化的潜在功能。徐州市域规划区包括微山湖生态湿地保护区和骆马湖湿地自然保护区等绿色空间布局能改善城市的整体生态环境，是更有效地发挥绿地对城市生态系统的平衡调控作用最可挖掘潜在功能的延伸区域。

特色景观节点，包括云龙湖风景名胜区、马陵山风景名胜区、泉山自然保护区、艾山自然保护区、大洞山森林生态系统自然保护区、临黄湿地公园、九里湖生态湿地公园、潘安湖湿地公园、大黄山郊野公园、农林产业培育区等。

特色景观节点培育规划，其中云龙湖风景名胜区：结合历史文物保护，改善植物群落的组成成分，修复层次错落、生态稳定、景观优美的森林生态系统；泉山自然保护区：通过封山育林和保育措施，修复山地森林生态系统，增强山地水土保持；大洞山自然保护区以暖温带森林生态系统为基底，重点保护好山岗、溶洞、水库自然地貌和生态系统；规划城西北采煤塌陷地、城东北采煤塌陷地、潘安湖采煤塌陷地等生态湿地保护区和湿地公园，维护自然生态系统平衡；区内农田防护林网规划。

(3) 市域与规划区生态防护体系的一专多能化潜在功能价值的挖掘与发挥。依据相关一专多能的生态防护体系项目，项目区全面实施生态防护后，植物固定 CO<sub>2</sub>，价值量增加 6.4 倍 O<sub>2</sub> 价值量增加 6.4 倍，土壤保持水的价值量增加 1.3 倍，滞尘量增加 5.2 倍，涵养水源价值增加 4.1 倍，营养物质循环与贮存价值量增加 6 倍，水土流失量减少为原来的 1/12<sup>[29]</sup>。

徐州市域与规划区的生态防护体系的一专多能化潜在功能价值的挖掘与发挥可借鉴上述成功案例，以高速公路绿地景观建设为例，应用“恢复生态学”及“生态服务”理论和方法，把生态防护的生态效益转化为社会效益与经济价值，使生态防护从定性到定量，再从定量发展到社会效益与经济价值，更全面地反映生态防护的作用。

## 4 结论与讨论

该文从城市规划控制区为主的城乡区域景观格局演变及作因子视角创新研究绿地生态网络与生态系统服务优化，为城市研究区及延伸的城乡区域绿地生态网络构建和生态系统服务优化提供了科学的依据、方法与途径。

城乡绿地生态网络景观格局优化，使城乡生态系统服务最大化，是实现可持续发展的重要途径。将景观格局的变化作为因子，来考虑其生态系统服务的价值，有利绿地生态网络及生态功能优化。

(1) 市区研究范围平均斑块面积、斑块密度呈现较为显著的斑块破碎化特征，以及景观连通性、异质性的不足，影响绿地生态网络生态系统服务价值最大化。重视城乡绿地生态网络化建设、强化生态网络生态系统的连续性和生物多样性，将是进一步挖掘绿地生态系统潜在服务效能和综合效益的重要途径，也是景观格局和生态系统服务功能优化的重要内容。

(2) 自然界是各组成部分之间通过相互联系和相互影响而形成的系统整体。生态学强调整体性和系统性，该文提出建设基于城市延伸的规划区的城乡区域绿地生态网络系统，将城市、城郊敞开的绿色空间连成网络，以期减少原城市绿地的孤立状态，以及提高城市绿地生态系统的抗干扰能力和边缘效应。

(3) 优化景观格局与过程的完整性、连通性，才能更好地发挥城市绿地的生态系统功能。该文从规划分析入手，探索挖掘城市规划区为主的城乡区域景观格局的潜在功能，提出构建与打通城区—城郊—城乡生态绿地网络主要绿地缀块之间的生态景观连接廊道，连通公园、专用绿地与附属绿地，维持河流与山体的自然属性与完整性，增建具有生态学意义的带状绿地、建立一专多能的生态防护体系等一系列更好地发挥城市绿地生态系统功能的优化方案。

(4) 研究区土地覆盖空间的演变，集中反映城市生态系统的主导作用更加突出。由此，在城乡生态平衡中，“山水林田湖草”的作用将更为突出。该文创新提出以“山水林田湖草”一体化理念引领与统筹城乡绿地生态网络建设，强调结构布局、自然地貌、河湖水系与城市功能分区的协调，从整个城市—城郊

—城乡生态环境考虑合理布局，注重通过把城郊、城乡自然引入城市，并实现“山水林田湖草”生命共同体与城的有机结合，维护生态平衡。

## 参考文献

- [1] Asakawa S, Yoshida K, Yabe K. Perceptions of urban stream corridors within the greenway system of Sapporo, Japan. *Landscape and Urban Planning*, 2004, 68 (2/3) : 167–182.
- [2] Wu J. Urban ecology and sustainability: the state – of – the – science and future directions. *Landscape Urban Planning*, 2014, 125 (2) : 209–221
- [3] Bennett, G., Mulongoy, K. J. Review of experience with ecological networks, corridors and buffer zones. London: Routledge, 2002
- [4] 巩杰, 谢余初, 孙朋, 等. 近25年嘉峪关城市景观格局变化及人文驱动力分析. 兰州大学学报(自然科学版), 2013, 49 (2) : 214–220.
- [5] Nell M C. Patch connectivity and genetic diversity conservation in the federally endangered and narrowly endemic plant species Astragalus albens (Fabaceae). *Biological Conservation*, 2008, 141 (4) : 938–955.
- [6] Liu S L, Deng L, Dong S K, Zhao Q H, Yang J J, Wang C. Landscape connectivity dynamics based on network analysis in the Xishuangbanna nature reserve, China. *Acta Oecologica*, 2014, 55: 66–77.
- [7] 许峰, 尹海伟, 孔繁花, 等. 基于MSPA与最小路径方法的巴中西部新城生态网络构建. 生态学报, 2015, 35 (19) : 1–13
- [8] Turner T. Greenway planning in Britain: recent work and future plans. *Landscape and Urban Planning*, 2006, 76 (1/4) : 240–251.
- [9] 陈剑阳, 尹海伟, 孔繁花, 等. 环太湖复合型生态网络构建研究. 生态学报, 2015, 35 (9) : 3113–3123
- [10] Monika Suskevics, Kadri Tillemann, Mart Külvik. Assessing the relevance of stakeholder analysis for national ecological network governance: The case of the Green Network in Estonia. *Journal for Nature Conservation*, 2013, 21 (4) : 206–213.
- [11] Camino Liquete, etc, al. Mapping green infrastructure based on ecosystem services and ecological networks: A Pan – European case study. *Environmental Science & Policy*, 2015, 54: 268–280.
- [12] 李秀芝. 北戴河新区耕地景观生态安全时空变化研究. 中国农业资源与区划, 2017, 38 (3) : 59–64
- [13] 张远景, 俞滨洋. 城市生态网络空间评价及其格局优化. 生态学报, 2016, 36 (21) : 6969–6984
- [14] 郭微, 俞龙生, 孙延军, 等. 佛山市顺德中心城区城市绿地生态网络规划. 生态学杂志, 2012, 31 (4) : 1022–1027
- [15] Marulli J, Josep M. Mallarach. A GIS methodology for assessing ecological connectivity: application to the Barcelona Metropolitan Area. *Landscape and Urban Planning*, 2005, 71 (2/4) : 243–262.
- [16] 孙逊, 张晓佳, 雷芸, 等. 基于城镇绿地生态网络构建的自然景观保护恢复技术与网络规划. 中国园林, 2013, 10: 34–39
- [17] Zeller K A, McGarigal K, Whiteley A R. Estimating landscape resistance to movement: a review. *Landscape Ecology*, 2012, 27 (6) : 777–797.
- [18] Laita A, Kotiaho J S, Minkinen M. Graph – theoretic connectivity measures: what do they tell us about connectivity, *Landscape Ecology*, 2011, 26 (7) : 951–967.
- [19] 熊建新. 滨湖地区城市生态网络构建的完整性与优化对策——以西洞庭湖区常德市为例. 经济地理, 2008, 28 (5) : 752–770
- [20] 唐昌君, 蒋文伟, 李静. 基于景观格局分析的长河镇生态绿地网络优化研究. 西北林学院学报, 2015, 30 (1) : 245–250
- [21] 吴椿, 王浩. 扬州市绿地生态网络构建与优化. 生态学杂志, 2015, 34 (7) : 1976–1985
- [22] 殷炳超, 何书言, 李艺, 等. 基于陆海统筹的海岸带城市群生态网络构建方法及应用研究. 生态学报, 2018, 38 (12) : 4373–4382.
- [23] G. Y. Liu, Z. F. Yang, B. Chen, Y. Zhang. Ecological network determination of sectoral linkages, utility relations and structural characteristics on urban ecological economic system, *Ecological Modelling*, 2011, 222 (15) : 2825–2834.
- [24] 吴杰. 基于园林景观改造的生态化农业示范园构建实践及规划——以司马矿区为研究对象. 中国农业资源与区划, 2017, 38 (4) : 148–153
- [25] 卿凤婷, 彭羽. 基于RS和GIS的北京市顺义区生态网络构建与优化. 应用与环境生物学报, 2016, 12: 1074–1081
- [26] Feng Li, Yaping Ye, Bowen Song, Rusong Wang. Evaluation of urban suitable ecological land based on the minimum cumulative resistance model: A case study from Changzhou, China. *Ecological Modelling*, 2015, 318 (24) : 194–203.
- [27] Baguette M, Blanchet S, Legrand D, Stevens VM, Turlure C. Individual dispersal, landscape connectivity and ecological networks. *Biological Reviews*, 2013, 88 (2) : 310–26.
- [28] Arnaiz – Schmitz C, Schmitz MF, Herrero – Jáuregui C, Gutiérrez – Angonese J, Pineda FD, Montes C. Identifying socio – ecological networks in rural – urban gradients: Diagnosis of a changing cultural landscape. *Science of The Total Environment*, 2018, 612: 625–635.
- [29] 田国行. 城市绿地景观规划的理论与方法. 北京: 中国农业大学, 2004

# RESEARCH ON OPTIMIZATION OF GREEN SPACE ECOLOGICAL NETWORK BASED ON REGIONAL LANDSCAPE PATTERNS<sup>\*</sup>

## —A CASE STUDY OF XUZHOU CITY IN JIANGSU PROVINCE

Tang Yaonan<sup>1,2\*</sup>, Wang Jia<sup>1</sup>, Zhou Weiqi<sup>1</sup>

(1. Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences/ State Key Laboratory of Urban Regional Ecology, Beijing 100085, China;

2. China Urban Construction Design & Research Institute CO. LTD, Beijing 100120, China)

**Abstract** The study on optimization of regional green space ecological network and ecological functions is one of the hotspots in landscape ecology research. On the base of analyzing Xuzhou landscape pattern evolution and heterogeneity, this paper explored optimization routes of urban bulit-up area green space landscape pattern in urban and rural areas. By applying economic & ecological principles, with the integration of mountain, forest, farmland, lake and grass concepts, took the optimization of regional ecosystem services and harmonious development between human and nature for the premise, this paper rational allocated green space ecological network landscape components, and optimized regional green space ecological network from the perspective of urban bulit-up area and urban planning areas. The results indicated that, from 2005 to 2015 in scope of the research, arable land decreased greatly and urban construction land increased rapidly. With the rapid development of eco-garden city construction, the proportion of industrial forest area increased greatly. Land cover change was directly reflected in rapid fragmentation of landscape patterns and decline of landscape diversity. The richness and complexity of landscape types needed to be sharply improved, landscape diversity index and landscape homogeneity degree also showed a relatively obviously decline trend. At last, this paper focused on some optimization programs of regional green space ecological network, such as enhancing the integrity and connectivity of landscape pattern & process, and exploring potential ecological functions, etc. The results provide scientific basis, methods, and ways for establishing of green space landscape eco-network and optimization of ecosystem service in urban and rural areas.

**Keywords** ecological network optimization; ecosystem functions; integrity and connectivity; landscape patterns; perspective of urban and rural areas