

江苏省土地生态网络规划中源地的选取研究

周小丹¹ 胡秀艳² 王君樯³ 刘瑞程³ 周生路³¹

(1. 江苏省国土资源研究中心, 江苏 南京 210008;

2. 扬州市自然资源和规划局江都分局, 江苏 扬州 225200;

3. 南京大学 地理与海洋科学学院, 江苏 南京 210023)

【摘要】: 区域土地生态网络构建是土地生态建设的重要内容。当前研究中, 多尺度的生态源地选取研究涉及较少, 需进一步深入研究。该文以江苏省为研究区, 基于土地利用调查数据开展全省土地生态敏感性与重要性评价分级, 并在此基础上选取敏感、极敏感和重要、极重要图斑并经阈值筛选确定生态源地, 生成架构生态廊道, 规划形成江苏省域含多层级的土地生态网络系统。研究结果表明: (1) 江苏省域土地生态网络可由 31 个一级源地、175 个二级源地、1313 个三级源地和 61 条一级廊道、345 条二级廊道、3882 条三级廊道组成, 面积为 23526.26km², 占全省总面积的 22.04%; (2) 一级生态源地主要由江、湖、水域湿地构成, 二、三级源地以水田、林地为主。其中, 长江、太湖、南通段沿海湿地、洪泽湖、高邮湖、盐城南段沿海湿地、盐城北段沿海湿地、骆马湖、溧湖、白马湖是省域内最主要的生态源地, 连通度综合指数(dIIC)在 1519 个生态源地中居前 10 名, 对全域土地生态连通起重要作用; (3) 土地生态敏感性、重要性评价结果是生态源地选取确定的重要基础和依据, 据此并结合生态廊道构建能较好地实现区域土地生态网络的规划。

【关键词】: 省域尺度 生态源地 敏感性 重要性 生态网络 景观连通度

【中图分类号】: X171.4 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2020)08-1746-11

我国正处于经济社会发展模式的转型期, 历史积累的生态环境问题与新经济新业态新模式对传统国土空间利用的影响相互交织^[1]。快速城镇化背景下, 土地不合理开发利用导致的生态环境恶化已严重影响区域健康发展。为保障人地生态系统的和谐, 土地资源管理正由关注数量保护向同时注重质量提升、加强生态建设转变, 并逐步形成数量-质量-生态“三位一体”的管理模式^[2]。区域土地生态网络构建是土地生态建设的重要内容, 是协调城市建设用地扩张与生态用地保护的有效措施。基于景观格局与生态过程互馈原理, 识别选取具有重要生态服务功能、生态敏感性、景观连通性的生态源地组分, 构建区域生态安全格局成为目前关注的热点^[3~5]。

针对生态网络构建, 国内外学者从不同空间尺度出发, 进行了一系列的生态网络构建研究。其中, 国外学者发展实践较早, 大都将研究重点聚焦于非行政界线尺度上^[6,7], 并逐渐从单一的生态廊道向多尺度网络结构转变。而国内学者基本将焦点放在省、市、县等行政界线尺度上^[8~10]。这其中, 县、市域的生态网络研究主要聚焦于生态敏感性与服务功能识别评价、网络中源地及廊道的

作者简介: 周小丹(1977-), 女, 高级工程师, 主要研究方向为土地利用与规划. E-mail: 3534464243@qq.com

王君樯, E-mail: njuwjx@gmail.com

基金项目: 长三角经济发达地区土地生态空间管控红线划定技术示范项目(201511001-03)。

景观连通性评价等,经验积累较丰富^[11~16]。

然而,当前研究中,省域研究主要基于景观连通视角对已有规划进行有效性评价^[9,10],成果相对不足;县、市等不同层级的生态网络规划间存在相互割裂、难以衔接等问题,为规划的统筹实施增添了难度。同时,相关研究中源地识别方法较少且较为简单,通常是直接选取自然保护区、风景名胜区和大面积林地等区域作为生态安全格局的源地,该方法忽略了区域及源地自身的生态环境状况^[12]。因此,将生态红线与生态网络构建有机结合,构建区域生态安全格局,能够更好地加强区域生态保护,遏制生态环境退化,维护生态系统平衡。

在构建生态网络时,依据翔实的土地利用数据构建省域内多层级的土地生态网络系统十分重要。在“源地选取——阻力面构建——生态廊道划定”的研究框架中,科学筛选生态源地是构建生态网络的基石^[11]。省域内影响生态敏感性与生态服务功能的因子复杂多样,评价需考虑的要素应全面而综合。如何兼顾自然因子及人类活动干扰选取生态源地,对土地生态格局构建的科学性影响显著。

江苏省自然资源丰富但人类干扰程度亦高,构建土地生态安全格局,严格控制生态安全底线,对于江苏省乃至长三角地区的可持续发展具有重要的战略意义^[12]。综上所述,本文以江苏省为研究区,基于土地生态建设视角,在1:5000土地利用图与ArcGIS、Conefor Sensinode等相关软件的支持下,通过生态系统服务重要性和生态敏感性评价,利用GIS空间分析技术识别省域内多层次生态源地,并利用景观连通度构建生态廊道,最终形成省域内多层级的土地生态网络系统。对如何选取确定生态源地、生成架构廊道,从而规划构建江苏省域土地生态网络系统进行探究,为省域土地生态建设提供一定的参考。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

江苏地跨30°45'N~35°20'N,116°18'E~121°57'E,处中国大陆东部沿海地区中部,长江、淮河下游,东濒黄海,北接山东,西连安徽,东南与上海、浙江接壤,是长江三角洲地区的重要组成部分。江苏地势低平,河湖较多,平原、水面占比90%以上。江苏气候温和,雨量适中,四季气候分明,以淮河、苏北灌溉总渠一线为界,以北属暖温带湿润、半湿润季风气候,以南属亚热带湿润季风气候。近年来的高速城市化进程中,土壤、水体、大气等环境均存在不同程度的污染,水域湿地等生态用地破坏问题逐渐凸出,人地关系日趋紧张。江苏省是长三角经济发达地区的重要组成部分,也是地理过渡带上重要的生物资源储备库,因而构建土地生态安全格局极为重要。

1.2 数据来源

本文研究采用数据如下:

(1)江苏全省1:5000土地利用变更调查数据,数据年份2016年,数据格式为矢量数据,数据来源为原江苏省国土资源厅。

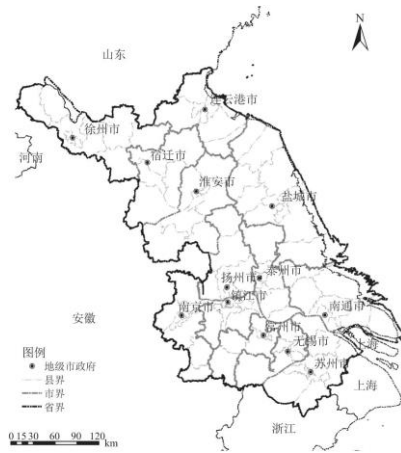


图 1 江苏省区位图

(2) 江苏省数字高程模型数据 (Shuttle Radar Topography Mission, SRTM), 空间分辨率为 30m。数据来源地理空间数据云 (Geospatial Data Cloud, <http://www.gscloud.cn/>)。

(3) 江苏全省 2016 年度 Landsat8 遥感卫星影像数据。空间分辨率为 30m。经过大气校正、辐射校正、去云等处理后, 通过第 4, 5 波段计算得出江苏全省年均植被归一化指数 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) 数据。数据来源于美国地质调查局 (United States Geological Survey, USGS) 网站。

(4) 江苏省年度净初级生产力数据。空间分辨率为 1km。数据来源于 EOSDIS 网站 (<http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/>)。

(5) 江苏省多目标化学调查土壤样点数据。此数据为 2km×2km 网格覆盖全省的样点数据, 共测试 54 个土壤指标, 包括有机碳、pH、全氮等。除此以外, 还测试重金属污染物、有机污染物含量共计 12 项。各指标测试方法采用国际标准通用测试方法。数据来源江苏省地质调查院。

(6) 江苏省, GOME-2 卫星 L2 级年均 NO₂ 柱浓度数据。此数据空间分辨率为 40km, 经过重采样加密到 10km。数据来源 Tropospheric Emission Monitoring Internet Service (<http://www.temis.nl/index.php>)。

(7) 江苏省逐日主要城市 PM_{2.5} 空气污染数据。监测城市覆盖所有地级市。基于应用程序编程接口 (Application Programming Interface) 从空气质量监测网站 (<http://pm25.in/>) 抓取。

(8) 江苏省水环境监测数据。包括全省 10 个监测站点的水质和污染状况数据。数据来源于原江苏省环境保护厅。

(9) 其他辅助数据, 包括《江苏省生态红线区域保护规划 (2013)》《江苏省重要生态功能保护区区域规划 (2009)》等。

1.3 研究方法

本文的源地选取研究主要分为两部分: (1) 通过测算研究区生态敏感性与生态服务功能重要性评价确定源地区域; (2) 基于选取源地过构建土地生态网络。本文选取生态源地的流程为: 经生态敏感性评价与生态系统服务功能重要性评价初选源地——参考相关规划加以补充——经面积阈值筛选确定一级、二级源地。由于省域尺度相对较大, 难以精细到对每个斑块的评价。本文以行政村作为评价单元, 以村域内经面积阈值筛选后敏感、极敏感和重要、极重要图斑作为源地。其中, 跨越多个行政村的斑块只要

部分落在所选村域范围内,即全部纳入保护。

1.3.1 生态敏感性评价

省域内不同生态系统的结构和组成多样,生态敏感性因子的作用机制更加复杂。本文基于江苏省土地生态敏感性实际情况和社会经济发展现状,从自然生态系统和人地生态系统两个角度出发,在参考相关研究文献的基础上,从数据的可获取性和指标区分度出发,选取了论文中所展示的指标从水体质量退化、土壤环境破坏、大气环境敏感、生态用地减少、建设用地胁迫角度共设置 15 个三级评价指标,并参考相关研究^[13,14],通过层次分析法和专家打分法综合确定指标权重,进行生态敏感性评价,如表 1。

表 1 土地生态敏感性评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	指标测度	权重	
自然生态系统	水体质量退化	水域湿地年均减少率	水域、湿地覆被年际变化	0.13	
		水体污染面积比例	不同水域污染程度的面积占比	0.09	
		水体污染程度综合指数		0.09	
	土壤环境破坏	土壤污染总面积比例	不同土壤污染程度的面积占比	内梅罗指数法	0.07
		土壤污染程度综合指数			0.07
		水土流失	基于 RUSLE 模型测算	0.05	
	大气环境敏感	大气净化	基于 CASA 模型测算 NPP	0.04	
		二氧化氮排放量	NO ₂ 月统计数据的全年均值	0.06	
		大气细颗粒物含量	PM _{2.5} 站点数据插值	0.04	
	生态用地减少	林牧退化率	林、草地覆被年际变化	0.06	
		植被覆盖度	基于 NDVI 提取归一化植被指数	0.03	
		农田侵占比例	农用地覆被年际变化	0.06	
	人地生态系统	建设用地胁迫	城市非渗透地表比例	城市用地不同下垫面面积占比	0.06
			建设用地占比		0.09
			道路密度	网格内道路面积与网格面积比	0.06

水域湿地的减少和水体的污染是高速城市化背景下水体质量退化最为显著的特征。江苏省太湖、洪泽湖、高邮湖等水域星罗棋布,河网水系交错复杂。本文以江苏省环境监测中心公布的水体质量数据为基础,借助重度、中度、轻度污染水体面积与水域总面积的比例关系确定水体质量变化特征,以年际间水域湿地的面积变化情况反映数量变化趋势。

土壤是各类生物化学反应发生的场所,是动植物乃至人类赖以生存的基础。江苏省人口稠密而土地资源需求量大,城市化带来的城市边界扩张及无序的土地利用方式导致扰动频繁,水土流失加剧;农业面源污染、工业废物的不合理排放等因素致使土壤中污染物富集,严重威胁生态系统的健康稳定。本文以 SRTMDEMUTM 90m 分辨率的 dem 数据为基础,基于修正土壤流失方程模型(RUSLE)模拟了江苏省水土流失的空间分布,揭示坡度、降雨、植被等自然因素及人为干扰对其敏感性的影响程度。此外,基于多目标地球化学调查数据,结合样点采样调查,提取不同用地类型的土壤污染状况信息。

大气环境质量敏感性的空间分布特征分析有利于揭示区域内部与区际之间的污染物排放及迁移情况。江苏省是承接产业转移的首要地区,内部各城市第二产业发展水平、环境治理政策等差异较大,空气质量分异明显。由于大气污染物的影响因子较多,区际间与地区内部的工业废气、交通尾气、生活燃煤废气等因素均对江苏省的大气环境质量产生了不同程度的影响,本文以 NO₂ 排放量和 PM_{2.5} 的监测数据揭示不同污染源作用下的大气环境敏感程度。此外,基于 CASA 模型计算植被净初级生产力(NPP),反映

大气净化能力。

生态用地的时空变化特征反映了生物因素对干扰的敏感程度。本文从 SPOTVGT 的 NDVI 产品提取归一化植被指数(植被覆盖度),并以年际间林草地退化率、建设用地侵占农田比例反映由自然及社会经济因素引起的生态退化情况。

建设用地对自然生境产生的干扰在人地生态系统中较为突出。道路作为硬质下垫面,对自然景观起阻隔作用,其同时也是声污染、大气污染的重要污染源。文章构建 2km*2km 的 fishnet,提取单元网格内各等级道路,通过空间叠置计算各行政村范围内的道路总面积占比,并以建设用地占比和非渗透地表比例反映硬化下垫面对水循环等自然过程的干扰。

1.3.2 生态服务功能重要性评价

生态服务功能评价参考谢高地等学者提出的“中国陆地生态系统单位面积生态服务价值当量表”^[13],以之分别对不同生态系统的气体调节、水源涵养等生态功能进行评估(由于篇幅有限,未予以列出)。由于地类图斑数据的分类方式较当量表中的地类更为精细,故计算前需进行地类转换,如表 2 所示。

1.3.3 生态源地确定

江苏省于 2013 年发布了《江苏省生态红线区域保护规划》,基于国家及地方法规划定了包括自然保护区、风景名胜区、森林湿地公园等在内的 15 种生态红线区域类型。本论文研究,选取上述生态红线区域为重要生态源地。此外,仅基于规划目录筛选源地,可能会遗漏具有重要生态意义的自然保护地。因此,在规划目录以外,根据前述研究结果,在 ArcGIS 中分别选取生态敏感性与重要性均在江苏省前 5%的区域,作为对规划目录以外的生态源地补充。同时,根据侯鹏等有关自然保护区空间分布关系的论述,重点生态功能区、生物多样性保护优先区和国家级自然保护区,三者在空间上有一定的重合,但同时存在分布的差异^[14]。

表 2 地类转换

陆地生态系统	一级类	二级类	地类编码
森林	园地	果园	021
		有林地	031
	林地	灌木林地	032
		其他林地	033
		天然牧草地	041
草地	草地	人工牧草地	042
		其他草地	043
	公共管理与公共服务用地	公园与绿地	087
农田	耕地	水田	011
		水浇地	012
		旱地	013
	园地	茶园	022
		其他园地	023
湿地	水域及水利设施用地	沿海滩涂	115
	其它土地	内陆滩涂	116
		沼泽地	125

		河流水面	111
		湖泊水面	112
		水库水面	113
水体	水域及水利设施用地	坑塘水面	114
		沟渠	117
		水工建筑用地	118
		冰川及永久积雪	119
低生态价值用地	其他	//	

根据地图学制图原理,人眼能分辨的图上两点间最小距离通常为 0.1mm^[24],相关学者在实验模拟的基础上,将其最佳值定为 0.25~0.3mm^[25]。经比例尺换算,本文以实际面积 0.9km² 作为源地斑块筛选阈值,将面积大于之的斑块作为生态源地,根据自然断带法划分一级、二级、三级源地。

1.3.4 土地生态网络构建及重要性评价

基于选取源地过构建土地生态网络。通过 ArcGIS10.3 软件、插件工具 Linkage Mapper for ArcGIS 10.x 构建一级生态廊道,并以生成的 corridor 中间过程数据作参考,划定二级、三级廊道。

以源地(廊道)的添加或剔除反映其对景观连通度的贡献大小是评价生态源地(廊道)重要性的主流方法^[3]。本文结合工具 Conefor Inputs for ArcGIS 10.x 和 Conefor Sensinode 2.6 软件,计算廊道添加前后可能连通性指数(Probability of Connectivity, PC)与连通性综合指数(Integral index of connectivity, IIC)的变化,即 dIIC 与 dPC,评价廊道在景观连通中的重要程度。

2 结果与分析

2.1 生态敏感性与生态服务功能重要性评价结果

生态敏感性评价结果中单一要素的空间分布特征揭示了不同地区对自然生态过程和人为干扰的敏感程度。如图 2,水体质量退化低值区主要集中于苏锡常及南通等苏南水网密集的地区。该区域位于长江中下游,水网密布,但苏南与上海组成的经济贸易体在快速城市化进程中对水域湿地的面积、质量等产生了较大的压力,致使苏南地区的水体环境质量整体偏低。土壤环境破坏低值区集中于盐城、南京、无锡等地,与该区域某些重金属元素浓度均值高于环境本底值有关^[17~20];此外,西部地区地势较高、人为扰动较大,水土流失敏感性整体高于东部。大气环境敏感低值区在江苏北部与南部均有分布。北部敏感区以徐州为核心,向宿迁、连云港等市辐射减弱,其主要原因为徐州植被净初级生产力相对较低,空气净化能力相对较弱,且山东临沂和枣庄的 PM_{2.5} 排放水平相对高于徐州,大气扩散可能是引起徐州 PM_{2.5} 浓度较高的原因之一。南部敏感区以苏锡常为核心,大气环境向外逐渐改善,虽然其空气净化能力与细颗粒物排放控制均处于较高水平,但 NO₂ 排放量高于周边地区。生态用地减少低值区集中于淮阴、苏州、南通,与较高的农田侵占率有关。建设用地胁迫方面,苏南地区道路密度更密集,而苏北建设用地占比及城市非渗透地表比例较高,故连云港、扬州、镇江、南通等区呈现出城市主城区建设用地胁迫较高的点状分布特征。

江苏省生态敏感性整体上呈南高北低的特点。无锡、苏州、常州、南通等地敏感度较高,体现了高度城市化背景下生态系统在自然因子和人类干扰作用下的高度脆弱性,其境内的大型生态斑块应列为红线保护对象。相较之下,淮阴及徐州地区的水、土、生态用地等要素条件趋于良好,生态敏感性较低。根据自然断带法将全省生态敏感性分值分为 5 级,由低到高分别为:极敏感、敏

感、一般敏感、较不敏感、不敏感。其中,极敏感与敏感区行政村数量在全省占比为 26.79%,面积占比为 21.20%。

生态服务功能评价中,高值集中于太湖、高邮湖、洪泽湖、长江入海口、沿海滩涂等水资源较丰富的地区附近(如图 3),生态服务价值与经济发展水平整体呈互相弥补的空间分布特点。根据自然断带法将全省生态服务功能分值分为 5 级,由高到低分别为:极重要、重要、较重要、一般重要、不显著。其中,极重要与重要区行政村数量在全省占比为 10.54%,面积占比为 10.07%,表明从整体上来看,资源环境向社会经济系统输入有用物质和能量、接受和转化来自经济社会系统的废弃物,以及直接向人类社会成员提供的服务较为有限,处于较低水平。

2.2 源地选取结果

经统计,可供筛选源地斑块的行政村共 30455.32km²,该比例尺下可满足人眼分辨率要求的斑块临界面积约为 0.9km²,在参考相关规划的基础上选取源地,如表 3 所示,以水域、湿地、农田为主要保护对象。由于斑块数量众多,不便直接划定红线,且不同面积大小的生境在景观中的功能、结构等复杂程度不同,不宜直接根据所有源地一并构建廊道,故融合相邻源地后,经自然断带法分为 5 类,选取面积较大的 3 类作为一级源地,包括 31 个大型斑块,约占总源地面积的 67.76%,以之为基础构建一级廊道;余下的作为二级、三级源地。如图 3 所示,一级源地主要包括太湖、洪泽湖、高邮湖等,其中下游长江及沿海湿地等构成了两条狭长的自然廊道。二级、三级源地以水田、林地为主,主要分布于中部及南部地区,北部相对较少。

2.3 土地生态网络构建结果

江苏省域土地生态网络可由 31 个一级源地、175 个二级源地、1313 个三级源地和 61 条一级廊道、345 条二级廊道、3882 条三级廊道组成,面积为 23526.26km²,占全省总面积的 22.04%。其中,一级生态廊道以北部的宿迁和连云港、中部的淮阴和盐城、南部的扬州和无锡等地连通最为密集(如图 5)。

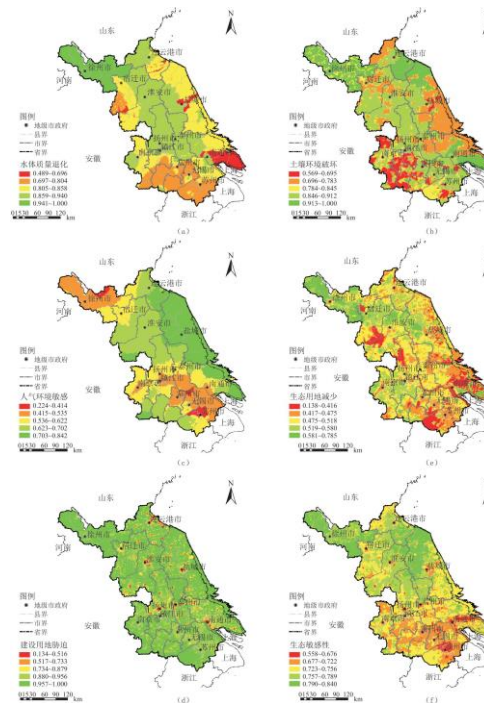


图 2 江苏省生态敏感性空间格局(a, b, c, d, e, f 分别代表水体质量退化、土壤环境破坏、大气环境敏感、生态用地减少、建设用地胁迫和生态敏感性综合分值)

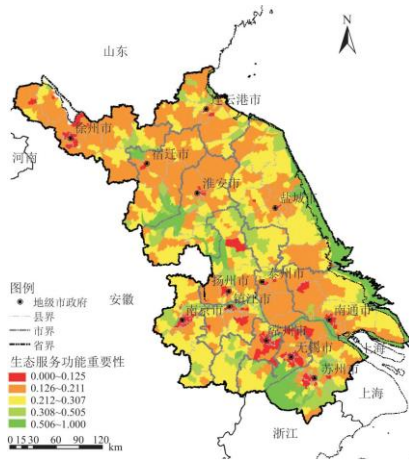


图 3 江苏省生态服务功能重要性空间格局

表 3 源地面积统计

源地类型	湿地	水域	农田	草地	森林	合计
面积 (km ²)	3276.65	9170.62	5261.78	88.71	666.87	18464.63

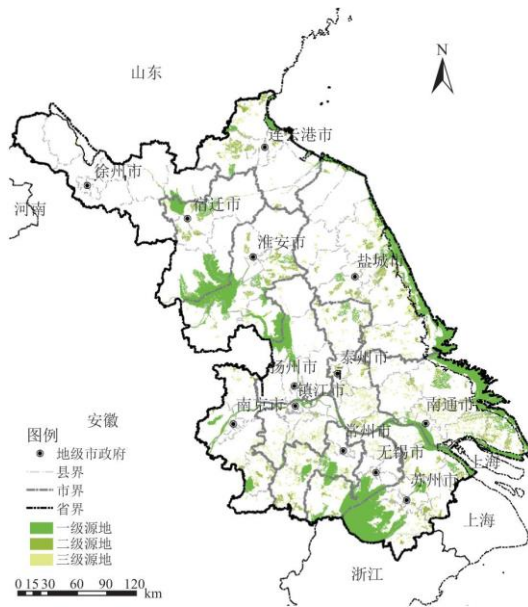


图 4 源地空间分布

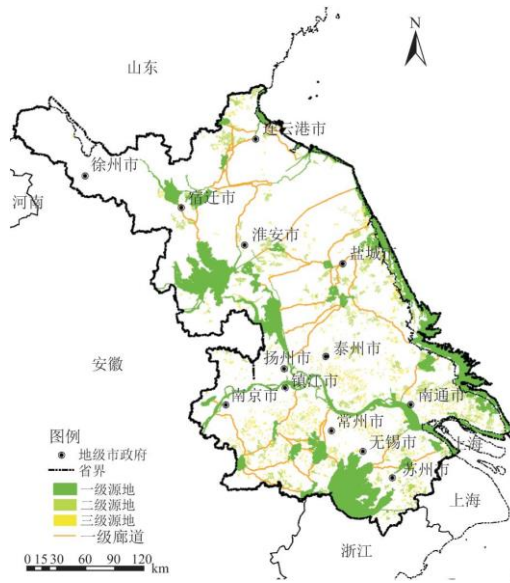


图 5 江苏省域土地生态网络

2.3.1 生态源地景观连通度评价结果

采用 dIIC 与 dPC 指数, 分别从二进制角度(连通与不连通)、可能性角度(连通的概率)分析景观的连通性, 筛选评价结果位均居前 10 的源地及廊道。经两指标比选, 居前 10 的生态源地虽排序不同, 但对象一致, 包括长江、太湖、南通段沿海湿地、洪泽湖、高邮湖(图中与邵伯湖斑块融合)、盐城南段沿海湿地、盐城北段沿海湿地、骆马湖、溮湖、白马湖。由此可见, 一级源地中水域、湿地重要度相对高于森林、草地等。

如图 5, 省域中部地区集中连片的农田斑块在网络中向东承盐城市沿海湿地, 向西接高邮湖、白马湖等, 但评价中景观连通性仅位于 20 名之后, 与中小型斑块在景观中因地处关键区位而发挥重要连接作用的认识存在出入^[7]。经分析, 其可能的原因是: 廊道构建的阈值上限较小时, 景观中各组分趋于分离, 中小型斑块的连通性较低; 随着阈值下限增大, 中小斑块因连接途径不唯一弱化了连接功能而不再重要。省域尺度下, 阈值属后者, 较小的农田斑块并非连通景观的唯一途径, 故无法与大型水域、湿地等并论。

2.3.2 生态廊道景观连通度评价结果

廊道评价中, 经筛选后共计 7 条均位于两指标评价结果前 10(见表 4)。长江是沟通东部沿海湿地与内部湖泊的关键渠道, 以长江为初始/目标源地的廊道共 3 条, 以“长江-高邮湖”、“长江-南通段沿海湿地”两段最为重要, 而二者在地理位置上距离较近, 构建和维护廊道的成本相对较低, 属于主要依托自然资源建设的廊道。此外, 南通段沿海湿地在连通盐城段湿地和联系周边森林公园、农田方面意义重大。诸多廊道中, “太湖-长江”段廊道的 dIIC 值居第 1, dPC 值仅为第 8, 表明土地生态网络中建立太湖与长江间廊道可显著提高整体连通度, 但由于需建廊道达 56.78km, 较远的距离致使可能连通性较于其他路径更低, 故该段廊道的构建和维护主要依托于人为管理, 属人造廊道, 成本相对较高。

表 4 一级廊道(部分)景观连通性评价

初始源地	目标源地	廊道长度(km)	dIIC 排序	dPC 排序
太湖	长江	56.78	1	8

高邮湖(含邵伯湖)	长江	0.10	2	1
高邮湖(含邵伯湖)	洪泽湖	0.10	3	5
南通段沿海湿地	长江	0.10	4	2
南通段沿海湿地	南通段农田及滨海森林公园	0.20	5	7
南通段沿海湿地	盐城南段沿海湿地	0.88	6	3
盐城南段沿海湿地	盐城北段沿海湿地	0.20	7	4

3 结论与讨论

本文以江苏省为研究区,通过生态系统服务重要性和生态敏感性评价,利用GIS空间分析技术识别生态源地,并利用景观连通度构建生态廊道。得出主要结论如下:

(1)江苏省域土地生态网络中一级生态源地主要由江、湖、水域湿地构成,二级、三级源地以水田、水浇地为主。

(2)长江、太湖、南通段沿海湿地、洪泽湖、高邮湖、盐城南段沿海湿地、盐城北段沿海湿地、骆马湖、溧湖、白马湖是省内最主要的生态源地,连通度综合指数(dIIC)在1519个生态源地中居前10名,对全域土地生态连通起重要作用。“长江-高邮湖”、“长江-南通段沿海湿地”两段自然廊道在维持全局景观连通方面具有重要作用,通过划分自然廊道与人工廊道可以较好地地为土地生态建设提供参考。

(3)土地生态敏感性、重要性评价结果是生态源地选取确定的重要基础和依据,据此并结合生态廊道构建能较好地实现省域土地生态网络的规划。

本研究从土地角度出发,通过构建指标体系进行定量计算,筛选出具有较高生态服务价值和较高敏感性的土地斑块。此外,运用GIS技术和景观生态学相关原理,考虑土地斑块在景观格局中的连通性作用,构建土地生态网络,保护生态系统的完整性和连续性。通过斑块尺度进行评价和生态网络构建,能够精确地划分出土地生态管控红线的范围,实现生态用地的合理布局,约束各项建设活动,精细化的进行生态用地的保护,促进经济社会与生态的和谐发展。

本文参考已有的《江苏省生态红线区域保护规划》等研究成果,利用生态系统服务重要性评价和生态敏感性评价方法识别江苏省内生态源地,确定江苏省生态源地面积为23526.26km²,占全省面积的22.04%;在此基础上构建生态网络并对廊道连通性进行评价。但是受研究理论、方法和数据所限,仅考虑水体质量退化、土壤环境破坏、大气环境和生态用地减少对生态敏感性的影响,其他生态系统服务功能和生态敏感性影响还有待于进一步的研究工作。

在本文结果基础上,如何在生态敏感性与生态系统服务功能重要性评价基础上,进一步精准识别应纳入生态保护的源地,需广泛借鉴其他相关成果。以农田为例,农田可供给食物,维持相对适宜的生存环境,但农业生产规模、作物种类、管理措施等因素均会对其在景观中的踏脚石等作用产生影响,参考相关研究有助于明晰农田的景观价值,提升生态网络构建的科学性。土地是自然-经济-社会的综合体,不同土地利用类型具有不同的自然及经济价值,一旦划入受保护的生态用地后,其社会、经济效应将十分复杂,因此,如何在维持土地生态安全格局的前提下,协调生态保护与经济发展间的矛盾,仍需进一步探究。

参考文献:

-
- [1]王少剑,方创琳,王洋. 京津冀地区城市化与生态环境交互耦合关系定量测度[J]. 生态学报, 2015, 35(7):2244-2254.
- [2]吕立刚,周生路,周兵兵,等. 区域发展过程中土地利用转型及其生态环境响应研究——以江苏省为例[J]. 地理科学, 2013, 33(12):1442-1449.
- [3]柴燕妮,魏冠军,侯伟,等. 空间视角下的多尺度生态环境质量评价方法[J]. 生态学杂志, 2018, 37(2):596-604.
- [4]吴未,范诗薇,欧名豪. 基于网络效能分析的生境网络构建与优化——以苏锡常地区白鹭为例[J]. 生态学报, 2017, 37(11):3872-3880.
- [5]刘世梁,侯笑云,尹艺洁,等. 景观生态网络研究进展[J]. 生态学报, 2017, 37(12):3947-3956.
- [6]CUMMING G S, ALLEN C R, BAN N C, et al. Understanding protected area resilience: a multi-scale, social-ecological approach[J]. *Ecological Applications*, 2015, 25(2):299-319.
- [7]LOOKINGBILL T R, MINOR E S. Assessing multi-scale landscape connectivity using network analysis[M]. *Learning Landscape Ecology*. Springer, New York, NY, 2017:193-209.
- [8]古璠,黄义雄,陈传明,等. 福建省自然保护区生态网络的构建与优化[J]. 应用生态学报, 2017, 28(3):1013-1020.
- [9]蒙古军,王雅,王晓东,等. 基于最小累积阻力模型的贵阳市景观生态安全格局构建[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(7):1052-1061.
- [10]李潇然,李阳兵,王永艳,等. 三峡库区县域景观生态安全格局识别与功能分区——以奉节县为例[J]. 生态学杂志, 2015, 34(7):1959-1967.
- [11]谢贤鑫,陈美球,田云,等. 国内近 20 年土地生态研究热点及展望——基于 Ucinet 的知识图谱分析[J]. 中国土地科学, 2018, 32(8):88-96.
- [12]邓金杰,陈柳新,杨成韞,等. 高度城市化地区生态廊道重要性评价探索——以深圳为例[J]. 地理研究, 2017, 36(3):573-582.
- [13]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[J]. 地理研究, 2017, 36(3):429-440.
- [14]陈昕,彭建,刘焱序,等. 基于“重要性-敏感性-连通性”框架的云浮市生态安全格局构建[J]. 地理研究, 2017, 36(3):471-484.
- [15]傅强,宋军,毛锋,等. 青岛市湿地生态网络评价与构建[J]. 生态学报, 2012, 32(12):3670-3680.
- [16]陈春娣,贾振毅,吴胜军,等. 基于文献计量法的中国景观连接度应用研究进展[J]. 生态学报, 2017, 37(10):3243-3255.
- [17]丁雨霖,冯长春,王利伟. 山地区域土地生态红线划定方法与实证研究——以重庆市涪陵区义和镇为例[J]. 地理科学进

展, 2016, 35(7):851-859.

[18] 燕守广, 唐欢欢, 曹学章, 等. 江苏省陆域生态红线区域生态安全评价[J]. 生态环境学报, 2016, 25(10):1638-1643.

[19] 谢慧玮, 周年兴, 关键. 江苏省自然遗产地生态网络的构建与优化[J]. 生态学报, 2014, 34(22):6692-6700.

[20] 蒋大林, 曹晓峰, 匡鸿海. 生态保护红线及其划定关键问题浅析[J]. 资源科学, 2015, 37(9):1755-1764.

[21] 张秀梅, 李升峰, 黄贤金, 等. 江苏省 1996 年至 2007 年碳排放效应及时空格局分析[J]. 资源科学, 2010, 32(4):768-775.

[22] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2):190-191.

[23] 侯鹏, 杨旻, 翟俊, 等. 论自然保护区与国家生态安全格局构建[J]. 地理研究, 2017, 36(3):420-428.

[24] 骆继花, 王鸿燕, 谢志英. 地图比例尺与遥感影像分辨率的关系探讨[J]. 测绘与空间地理信息, 2015, 38(12):61-64.

[25] 易锋, 胡家赋, 郭军. RBF 神经网络一半参数优化模型在滑坡预报中的应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2014, 37(12):43-45.

[26] 钱庆腾, 方淑波, 乔亚军, 等. 盐城海岸带土壤重金属污染风险评价比较研究[J]. 环境污染与防治, 2016, 38(12):43-48.

[27] 方淑波, 贾晓波, 安树青, 等. 盐城海岸带土壤重金属潜在生态风险控制优先格局[J]. 地理学报, 2012, 67(1):27-35.

[28] 宋金茜, 朱权, 姜小三, 等. 基于 GIS 的农业土壤重金属风险评价研究——以南京市八卦洲为例[J]. 土壤学报, 2017, 54(1):81-91.

[29] 李建国, 濮励杰, 廖启林, 等. 无锡市土壤重金属富集的梯度效应与来源差异[J]. 地理科学, 2014, 34(4):496-504.

[30] 贾振毅, 陈春娣, 童笑笑, 等. 三峡沿库城镇生态网络构建与优化——以重庆开州新城为例[J]. 生态学杂志, 2017, 36(3):782-791.