

DOI: 10.5846/stxb201904120734

寿飞云, 李卓飞, 黄璐, 黄绍荣, 严力蛟. 基于生态系统服务供求评价的空间分异特征与生态格局划分——以长三角城市群为例. 生态学报, 2020, 40(9): 2813-2826.

Shou F Y, Li Z F, Huang L, Huang S R, Yan L J. Spatial differentiation and ecological patterns of urban agglomeration based on evaluations of supply and demand of ecosystem services: A case study on the Yangtze River Delta. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(9): 2813-2826.

基于生态系统服务供求评价的空间分异特征与生态格局划分

——以长三角城市群为例

寿飞云¹, 李卓飞², 黄璐^{1,3}, 黄绍荣⁴, 严力蛟^{1,*}

1 浙江大学生命科学院生态规划与景观设计研究所, 杭州 310058

2 浙江臻善科技股份有限公司, 杭州 310058

3 浙江大学新农村发展研究院, 杭州 310058

4 宁波市生态环境局余姚分局, 宁波 315400

摘要: 生态系统服务供给与需求能力存在显著的空间异质性与空间失衡, 对区域经济发展与环境保护产生巨大影响。以长三角城市群区县为研究单元, 分别核算其生态系统服务供给与需求值, 引入梯度分析, 分析生态系统服务供给与需求的空间特征, 并基于供求分析提出长三角城市群生态格局分区方案, 且针对性地提出相应片区的发展策略, 为长三角城市群土地利用规划、区域协调发展提供科学依据。研究结果表明: (1) 长三角城市群生态系统服务供给能力与土地利用类型密切相关, 呈现从北到南逐渐升高趋势; (2) 长三角城市群生态系统服务需求能力与社会经济发展联系紧密, 在长江入海口附近形成生态系统服务需求高值区, 然后向外围递减; (3) 沪宁杭发展梯度带上, 生态系统服务供需大致呈现负相关趋势; (4) 基于生态系统服务供需关系构建, 得到长三角城市群生态格局四大分区: 生态保育区(高供给-高需求), 生态修复区(低供给-高需求), 生态重塑区(低供给-低需求), 生态开发区(高供给-低需求)。

关键词: 长三角城市群; 生态系统服务供给; 生态系统服务需求; 梯度分析; Z-score; 生态格局

Spatial differentiation and ecological patterns of urban agglomeration based on evaluations of supply and demand of ecosystem services: A case study on the Yangtze River Delta

SHOU Fei Yun¹, LI Zhuo Fei², HUANG Lu^{1,3}, HUANG Shaorong⁴, YAN Li Jiao^{1,*}

1 Institute of Ecological Planning and Landscape Design, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China

2 Zhejiang Shine Technology Co., Ltd., Hangzhou 310058, China

3 Institute of New Rural Development, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China

4 Yuyao Branch of Ningbo Ecological Environment Bureau, Ningbo 315400, China

Abstract: Significant spatial heterogeneity and spatial imbalance exist in the supply and demand capabilities of ecosystem services, which have a huge impact on regional economic development and environmental protection. Taking the Yangtze River Delta urban agglomeration as the research unit, its supply and demand of ecosystem services was separately calculated in this study. With gradient analysis, the spatial characteristics of ecosystem service supply and demand were summarized.

基金项目: 国家重点研发计划课题资助项目(2016YFC0502704); 国家自然科学基金项目(41701638); 杭州市科技发展计划项目(20170834M30)

收稿日期: 2019-04-12; **修订日期:** 2019-09-09

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yanlj@zju.edu.cn

Based on the analysis of the supply and demand, an ecological pattern zoning scheme for the Yangtze River Delta urban agglomeration and targeted development strategies for different parts of the area were proposed, which would provide scientific bases for the land-use planning and regional coordinated development of the area. Results of this research show that: (1) the supply capacity of ecosystem services in the Yangtze River Delta urban agglomeration is closely related to the type of land use, showing a gradual increase from north to south; (2) there is a close connection between the demand for ecosystem services in the area and socioeconomic development, where a high-value area for ecosystem service demand is formed near the estuary of the Yangtze River and then declines toward the periphery; (3) the supply and demand of ecosystem services has a negative trend along the urban-rural gradient that transects across Shanghai-Nanjing-Hangzhou-Hefei; and (4) based on the relationship between the supply and demand of ecosystem services, the ecological pattern of urban agglomeration in the Yangtze River Delta can be divided into four zones: an ecological conservation area (high supply-high demand), an ecological restoration area (low supply-high demand), an ecological remodeling area (low supply-low demand), and an ecological development area (high supply-low demand).

Key Words: Yangtze River Delta urban agglomeration; ecosystem service supply; ecosystem service demand; gradient analysis; Z-score; ecological pattern

生态系统服务是指人类从生态系统中直接或间接的获益^[1-2], 包括对人类生存及生活质量有贡献的有形和无形服务^[3-4], 这一理论内涵决定了生态系统服务可以成为衔接人类福祉与生态系统的核心概念。研究表明, 生态系统服务供给与需求能力存在明显的空间分异及错位问题^[5-8]。因此, 生态系统服务的研究应在分析生态系统服务供给能力的同时, 考虑当地经济社会对于生态系统服务的需求^[9-11]。

目前, 在生态系统服务供给领域已有较多研究, 且形成较为成熟的计量方法^[3, 12-13]。近年来, 学者们开始对生态系统服务供给与需求的综合探究给予高度关注^[5, 8, 14-15], 但由于缺乏恰当的供需量化方法, 现对于生态系统服务供求关系的研究缺乏, 且多数停留在理论研究阶段, 量化分析较弱^[16-17]。

生态系统服务供求关系可一定程度反映地区社会发展的可持续性^[18], 由于经济发展、城市扩张带来的生态系统服务供给下降、需求上升趋势也将导致地区人地矛盾日益激化^[19-20]。因此, 本文引入梯度分析方法, 该方法主要用于景观结构^[21]方面的研究, 而近年来被逐渐引入生态系统服务^[22-23]分析中, 以期通过该分析方法探究城市带上生态系统服务供给与需求的变化格局; 除此之外, 以生态系统服务供求值为立足点, 进行生态格局的划分, 并提出针对性的规划意见。基于以上方式, 研究生态系统服务供求关系, 评估供给潜力、需求水平, 从而达到改善区域生态环境并推动社会经济健康发展的目的^[24]。

长江三角洲城市群是我国经济最具活力、开放程度最高的区域之一, 本研究以区县为研究单元, 通过采用修正的生态系统服务价值量, 以及社会经济指标分别核算生态系统服务供给量、需求量, 并通过梯度分析得到城市带生态系统供求变化趋势, 进行长三角城市群生态格局划分, 以期通过分区对长三角城市群进行差异化建设引导。

1 研究区概况

长江三角洲城市群(以下简称长三角城市群)地处中国东南沿海地区(116°29'E—122°45'E, 27°14'N—33°41'N之间), 土地面积约为 207000 km², 占全国国土面积的 2.2%, 地貌类型以平原为主, 平均海拔高度为 88 m。长三角 26 个城市 GDP 为 14.7 万亿元, GDP 增速高于全国平均水平 1.7 个百分点^[25], 在国家现代化建设大局和全方位开放格局中具有举足轻重的战略地位, 但与此同时人地矛盾日益显著, 明确如何消减这一矛盾尤为重要^[26]。

2 数据与研究方法

2.1 数据来源

本文以长三角城市群 209 个区县为研究单元,采用由中国科学院地理科学与资源研究所提供的长三角城市群 2015 年土地利用遥感数据为基础数据,将地类划分为耕地、林地、草地、水域、建设用地及未利用土地 6 大类。人口、经济、社会等数据来自各省市统计年鉴。

2.2 评价指标体系构建

生态系统服务供给是指在目标时间段内研究区域所能提供生态系统的产品和服务的能力^[9],本研究根据“千年生态系统评估”框架,同时,结合谢高地根据中国民众和决策者对生态服务的理解状况,提取 9 项生态系统服务功能^[27-28]。

生态系统服务需求方面选用 Schröter, Villamagna 等^[29-30]对其的理解,即综合考虑人类生活对于生态系统服务的消耗和偏好需求,指出生态系统服务需求是指人类社会消耗或获得的生态系统服务数量。基于此,笔者选取社会经济指标中的土地需求、人口需求以及经济需求^[31]进行表征,如表 1。

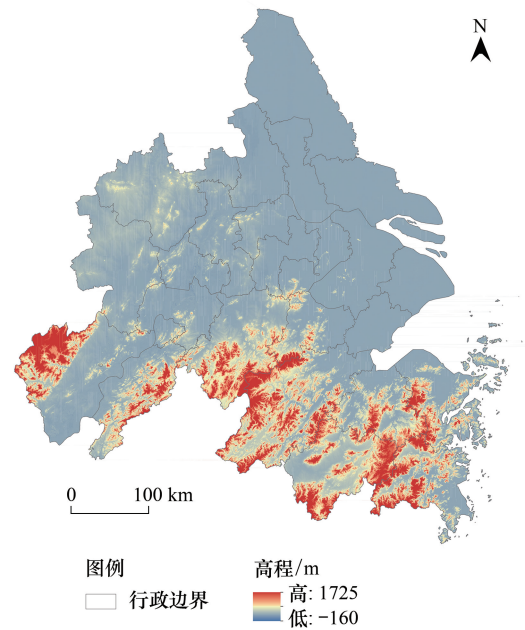


图 1 长三角城市群地理区位

Fig.1 Geographic location of study area

表 1 评价指标体系

Table 1 The evaluation index system

目标 Target	一级指标 First-level index	二级指标 Second-level index
生态系统服务供给 Ecosystem service supply	供给服务	食物生产价值 原材料生产价值
	调节服务	气体调节价值 气候调节价值 水文调节价值 废物处理价值
		保持土壤价值 维持生物多样性价值
		提供美学景观价值
	文化服务	土地利用开发强度
生态系统服务需求 Ecosystem service demand	土地需求	人口密度
	人口需求 经济需求	地均 GDP

2.3 生态系统服务供给核算

本研究采用价值当量法对生态系统服务供给进行核算,依托长三角地区的区域特征对其当量系数进行修正^[3,22,27],以得到符合长三角地区实际情况的生态系统服务供给价值。其中供给服务通过研究区域单位土地的农、林、牧、渔产值进行修正;调节服务和支撑服务差异源于生态本底,故以森林覆盖率对两者的价值当量进行修正;鉴于旅游可间接反映美学价值,故依靠旅游总收入对文化服务进行价值当量修正。具体修正公式如下:

$$n = \frac{a_i}{A_i} \quad (1)$$

式中, n 为修正系数; A_i 为全国均值; a_i 为长江三角洲均值。

通过测算,供给服务中耕地、林地、草地、水体的修正系数分别为 3.4344、3.4145、2.7012、7.2499;调节服务与支持服务的修正系数为 1.4808;文化服务的修正系数为 15.2992;由于建设用地所能提供的生态系统服务量极少^[3,27],故不予计算。

基于长三角城市群单位面积生态系统服务价值(表 2),按以下公式对长三角城市群各区县生态系统服务供给能力进行测算赋值。

$$ESV = \sum_{i=1}^n VC_i \times \frac{u_i}{u} \quad (2)$$

式中, ESV 为评价单元生态系统服务价值(元 $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$); n 为土地利用类型数量; VC_i 为第 i 种土地利用类型单位面积生态系统服务价值(元 $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$); u_i 为第 i 种土地利用类型面积(hm^2); u 为评价单元土地总面积(hm^2)。

表 2 长三角城市群单位面积生态系统服务价值/(元 $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$)

Table 2 Ecosystem service value per unit area in yangtze river delta urban agglomerations

一级类型 First class	二级类型 Second class	耕地 Cropland	林地 Forest land	草地 Grassland	水体 Water body
供给服务 Provisioning services	食物生产	1542.41	506.03	521.63	1725.61
	原材料生产	601.54	4569.71	436.73	1139.61
	小计	2143.95	5075.74	958.37	2865.22
调节服务 Regulating services	气体调节	478.83	2872.98	997.56	339.17
	气候调节	645.10	2706.73	1037.47	1370.00
	水源涵养	512.09	2720.03	1010.86	12482.87
	废物处理	924.41	1143.87	877.85	9875.90
	小计	2560.42	9443.62	3923.76	24067.93
支持服务 Supporting services	保持土壤	977.62	2673.47	1489.69	272.67
	维持生物多样性	678.34	2999.34	1243.64	2281.09
	小计	1655.96	5672.82	2733.33	2553.76
文化服务 Cultural services	提供美学景观	1168.09	14291.42	5977.69	2952.79
	小计	1168.09	14291.42	5977.69	2952.79
	合计	7528.43	34483.59	13593.15	32439.70

2.4 生态系统服务需求核算

基于笔者认知,考虑到生态系统服务需求的驱动因素以及数据可获得性,分别以土地开发强度、人口密度、地均 GDP 代表土地需求、人口需求以及经济需求。由于少数极发达地区人口与经济指标波动极大造成地区需求值产生显著差异,故对人口与经济指标进行对数处理^[31-32],以削弱极端数据对研究区域生态系统服务需求能力的评估。测算方式如下:

$$ESD = X_1 \times \log_{10} X_2 \times \log_{10} X_3 \quad (3)$$

式中, ESD 表示生态系统服务需求; X_1 表示土地开发强度; X_2 表示人口密度; X_3 表示地均 GDP。

2.5 生态系统服务供求值梯度分析

空间梯度是指沿某一方向景观特征有规律地逐渐变化的空间特征^[33]。为了深入分析各城市内部生态系统服务供给与需求价值,引入梯度分析,并进行如下设置:(1)结合格网构建参考文献^[34-36]与研究区域大小考虑,选用 5 km×5 km 的格网尺度单元为梯度分析单元;(2)分别以上海、杭州、南京、合肥 4 个城市为端点,形成 4 个城市间发展梯度带(图 2),即沪宁带、沪杭带、杭庐带以及宁庐带,以分析 4 个梯度带内生态系统服务供给与需求值的分布规律。

2.6 生态系统服务供求关系构建

基于以上对于生态系统服务供给、需求的核算,引入 Z-score 方法进行数据标准化,以 X、Y 轴分别表征标准化后的生态系统服务供给值、需求值,划分为 4 象限:象限一、二、三、四分别代表高供给-高需求、低供给-高需求、低供给-低需求以及高供给-低需求等不同类型的生态区划。

$$x = \frac{x_i - \bar{x}}{s} \quad (4)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (5)$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (6)$$

式中, x 表示标准化后生态系统服务供给(需求)值; x_i 表示第 i 个研究单元生态系统服务供给(需求)值; $\bar{x}$ 表示长三角城市群平均值; s 表示城市群标准差; n 为研究单元数。

3 结果与分析

3.1 生态系统服务供给空间特征分异

长三角地区各类型用地面积存在较大的差距,草地 69.48 万 hm^2 (3.37%)、耕地 1012.23 万 hm^2 (49.13%)、林地 566.22 万 hm^2 (27.48%)、水体 165.37 万 hm^2 (8.03%),导致该地区不同生态系统服务表现能力具有显著差异(图 3),调节服务占比最高,为 36.44%;其次为文化服务(提供美学景观),30.42%;供给服务为 16.69%;最后为支持服务,16.44%。

长三角地区土地利用类型的分布具有显著的空间异质性,以研究范围内省级行政(直辖市)边界为限,上海市建设用地面积占上海市行政区划面积的 36.32%,其余可为人类提供生态系统服务的四大用地类型仅占 63.65%;江苏省、浙江省、安徽省建设用地比例分别为 18.11%、8.35%、7.47%;相应的生态用地分别为 81.63%、91.61%、92.52%。这使得长三角各地区所能提供的生态系统服务价值存在明显区域性,如图 3 所示,上海相较于其他地区可提供生态系统服务的用地较少,因此地均生态系统服务价值极低,为 6305.92 元/ hm^2 ;江苏省区县地均生态系统服务价值较上海市良好,但不容乐观,基本处于整体的中下水平;而浙江省大部分地区其生态系统服务价值较高,杭州市、台州市、金华市的地均生态系统服务价值占据前三名,除生态用地比例较低的嘉兴市外,其余 4 市均处于中上水平;安徽省中宣城市、池州市、安庆市、铜陵市地均生态系统服务价值处于前列。

由长三角城市群各区县生态系统服务供给价值分布(图 4)可知,总体而言,长三角城市群生态系统服务供给价值呈现从北到南逐渐升高趋势:其高值区主要包括研究区域浙江省南部,安徽省西南部,供给值基本超过 22335 元/ hm^2 ,其中,淳安县生态系统服务供给值最高;低值区主要包括上海、江苏省的东部、安徽省中西部,其中,最低值出现于上海市的闸北区与静安区。长三角城市群生态系统服务供给能力与土地利用类型关系紧密,淳安县 79%为林地,建设用地仅为 10%;而上海市闸北、静安区几乎均为建设用地。

3.2 生态系统服务需求空间特征分异

基于自然环境以及经济社会发展选择,长三角各地区人口分布存在明显差异(如图 5)。其中上海人口密度最高;江苏省包括无锡市在内的 7 个城市均处于前列;安徽省 4 市人口密度较低。长江三角洲城市群经济

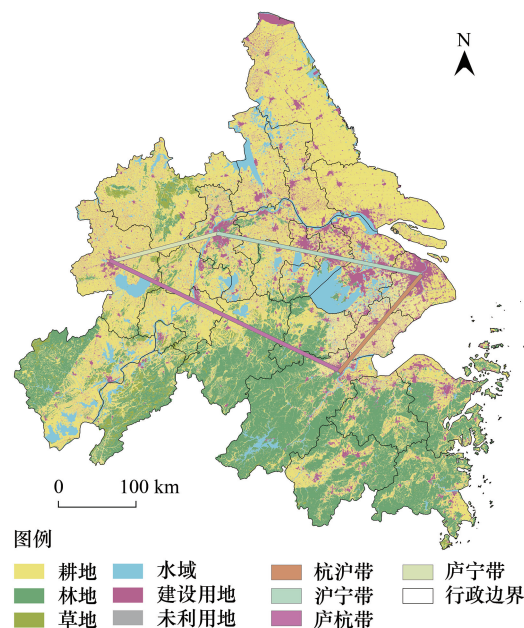


图 2 沪宁庐杭梯度带示意图

Fig.2 Gradient transects across Shanghai-Nanjing-Hefei- Hangzhou

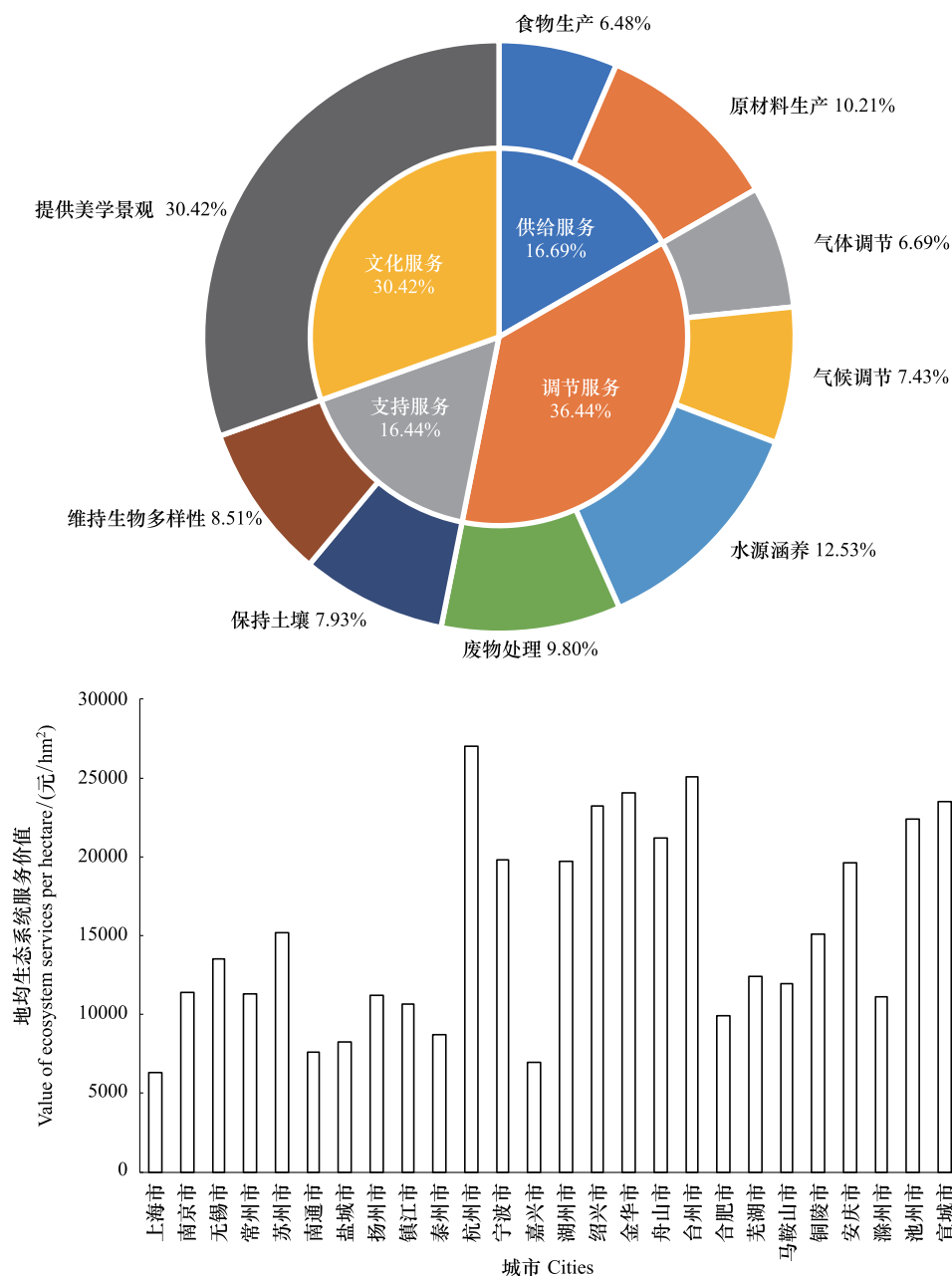


图3 长三角城市群不同类型生态系统服务价值量百分比及各地级市地均生态系统服务价值量

Fig.3 Value ratio of different types of ecosystem service and ecosystem services supply in different cities in study area

虽然总体较为发达,但各城市间的差别仍然明显,其中上海市地均 GDP 高达 323 万元/hm²;江苏省 3 市地均 GDP 超过 100 万元/hm²;而安徽省多处于下游,多地地均 GDP 低于 10 万元/hm²。就地均 GDP 而言,最高值上海市已超过最低值池州市 80 倍有余。在土地利用开发上,上海市已高达 36.32%,包括静安区在内的 7 个县区其土地利用开发程度已接近饱和;安徽省多地土地利用开发程度低于 5%,对于土地利用开发尚显不足。

基于以上可知,长三角城市群生态系统服务需求空间分布具有明显的区域性(图 6),长江入海口附近形成生态系统服务需求高值区,然后向外围递减。按照 GIS 中的自然间断点分级法(Jenks)将生态系统服务需求值划分为 5 个等级,111 个县区处于 0—1 等级中,仅 17 个县区其生态系统服务需求处于等级 11—18 之间。其中上海市静安区需求值最高,为 17.70;内陆地区,特别是山区、郊区生态系统服务需求较低,其值普遍低于 1。

3.3 生态系统服务供求梯度变化

将沪宁带、沪杭带、杭庐带以及宁庐带 4 条梯度带所经过格网的生态系统服务供给与需求值作为纵坐标,以离开端点城市的距离作为横坐标,得到 4 条梯度带上的生态系统服务供给与需求值(图 7)。

结果表明:(1)从 4 条梯度带供需状况的分布来看,长三角各城市之间生态系统服务供需差异明显,且城市内部供求极度不平衡,大致呈负相关趋势;(2)沪杭带经过上海、嘉兴、杭州 3 个城市,梯度带两端供给能力较低而需求却较高,上海中部以建设用地为主,供给能力几乎为 0,嘉兴地区以耕地为主,生态系统服务供给能力上升,需求下降;(3)沪宁带经过上海、苏州、无锡、常州、镇江、南京 6 个城市,供给能力呈“M”型分布,而需求呈现明显的“W”型;(3)杭庐带经过杭州、湖州、宣城、芜湖、马鞍山、合肥等 6 个城市,芜湖市供给与需求空间分布较为匹配,杭州西部、湖州、宣城东部以林地为主,生态系统服务供给能力较高;(4)庐宁带经过南京、马鞍山、滁州、合肥 4 个城市,处于梯度带中间部分的平均值明显高于两端,而需求处于低值。

基于城市内与城市间极度不平衡现象,在之后的空间规划中,需采用宏观视角,平衡各地发展。如上海中心大多为建设用地,后可将其南侧的乡村打造为上海中心城菜篮子,统筹城乡发展;将嘉兴定位为上海的后花园,协调区域发展。

3.4 生态系统服务供求关系空间特征分析

通过 Z-score 标准化将各市的生态系统服务供给值与需求值进行关联,得到象限图。由图 8 可知,处于高供给-高需求区的区县极少,仅有 4 个,绝大多数城市处于高供给-低需求区以及低供给-低需求区,分别为 83 个与 71 个,几乎占研究总数的 3/4;剩下的 51 个研究单元处于低供给-高需求区。

以研究范围内省级行政(直辖市)边界为限:上海市作为全国的经济贸易中心,经济发展迅猛,土地利用开发超前,因此各区县均处于低供给区域;江苏省各区县中,以处于低供给-低需求区的研究单元为最,供需能力相对匹配,次多出现于低供给-高需求区,处于高供给区域的研究单元较少;浙江省的经济发展在长三角城市群中较为领先,但其较好地利用了现有的生态资源,在不破坏生态本底的情况下发展生态产业,因此仍然有较多的区县出现于高供给区,其中高供给-低需求区主要出现在主城市的周边区县,如杭州市的淳安县、富阳县、建德市、临安市、桐庐县等;还包括自然地理条件优越,生态本底良好尚未开发地区也可提供较高的生态系统服务,如金华的磐安县、台州的仙居县以及舟山的嵊泗县等;安徽省经济较其他三个省市滞后,因此其处于生态系统服务需求低值区的区县为多,以处于高供给-低需求区的区县为最。

3.5 基于生态系统服务供需关系的生态格局划分

基于生态系统服务供需值的象限划分,将长三角城市群 209 个区县规划至 4 大生态片区(如图 9、表 3):生态保育区(高供给-高需求)、生态修复区(低供给-高需求)、生态重塑区(低供给-低需求)、生态开发区(高供给-低需求)。

生态保育区:包含 4 个区县,呈点状分散于长三角城市群中部与东部沿海地区。这些区县生态本底条件较为优越,经济发展水平较好,人类对该地区的开发与保护适当。从生态系统服务供求关系而言,达到较高水准的平衡,适宜人类生活。

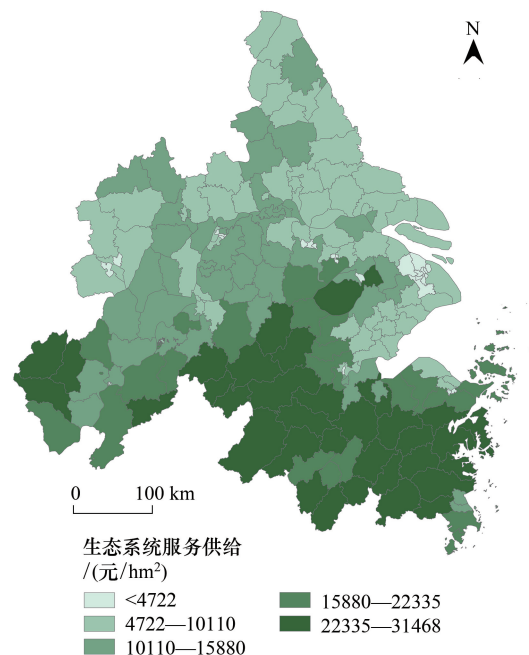


图 4 长三角城市群各区县生态系统服务供给能力

Fig.4 Supply capacity of ecosystem services in all districts and counties of study area

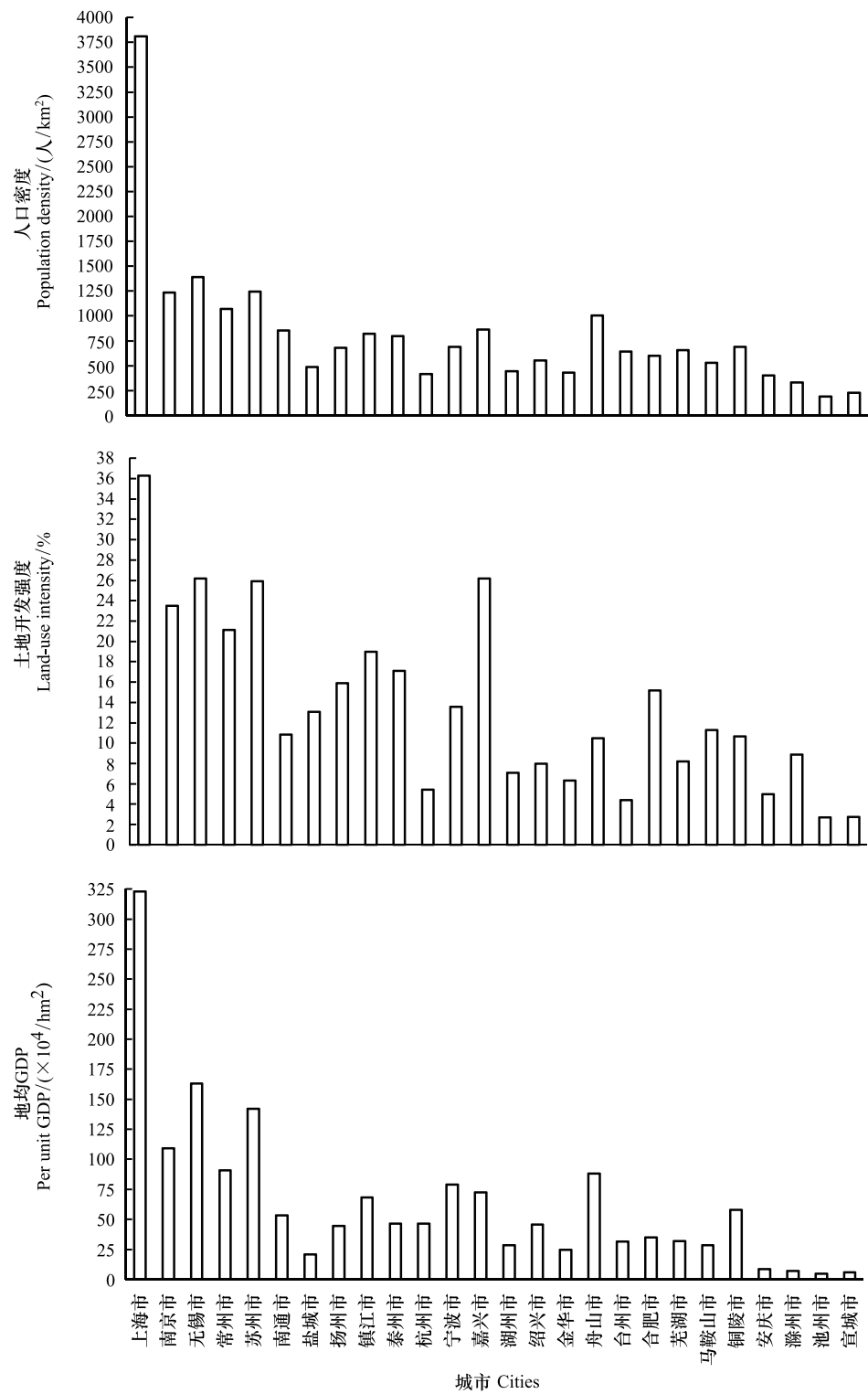


图 5 长三角城市群各地级市人口密度、地均 GDP、土地开发强度

Fig.5 Population density, GDP per area, and land development intensity of various cities in research area

因此,在之后的长三角城市群发展规划中,这些区县可沿现有发展道路继续探索,并可凭借优渥的生态资源开展生态旅游业;在优化绿色生态空间的基础上适度扩大产业和城镇空间,利用现有的经济基础与技术手段,不断优化土地利用结构,在保护基础上谋求新发展;同时,可以将这几个区县作为节点,发挥其社会-生态

效益,辐射带动周边地区生态-经济协调发展。

生态修复区:包含 51 个区县,主要位于东部沿海经济高度发达地区、大城市的主城区以及高新开发区。该片区在社会经济指标上表现抢眼,人类活动频繁,但在追求经济社会发展之时,过度依赖于土地开发,资源承载能力已达到阶段性饱和。从生态系统服务供求关系而言,需求>供给,若仍按照原本的方式继续发展,宜居程度下降,甚至对生态本底造成不可逆的伤害。

因此,该片区要率先转变空间开发方式,严格控制新增建设用地规模以及开发强度;依托现有的高新技术与人才优势,推动地区产业转型升级与周边地区的发展,以缓解自身的人地矛盾;加强生态修复与建设,维护生态系统结构和功能稳定,改善当前生态本底不佳的现状;统筹城乡发展,适度扩大生态用地,使经济发展与生态供给趋向平衡。

生态重塑区:包含 71 个区县,集中分布于长三角城市群北部。这些区县地势平坦,生态条件一般且经济发展水平滞后。从生态系统服务供求关系而言,两者达到低程度平衡,该片区尚未探索到可推动经济上涨并在生态承受范围内的发展模式。

因此,在之后的发展规划中,应重视对于该片区的土地整理,改善土地利用模式,同时提高该片区的生态系统服务供给与需求能力;加强与周边地区的交流与合作,加大技术与人才流动,依靠周边城市进行有效发展;统筹城乡发展,促进地区产业的优化升级,增强单位土地的利用效率;有效利用当地特色资源,如江苏等地的水体,发展生态经济;优化空间布局,推动地区经济可持续发展。

生态开发区:包含 83 个区县,主要分布于长三角城市群南部。这些区县地势较高,林地资源丰富,生态状况良好,具有较大资源承载潜力;但现阶段对土地开发程度不高,人口压力较小。从生态系统服务供求关系而言,供给>需求,生态资源丰富,尚存较大发展空间等待挖掘。

在此后的规划中,应充分利用该地区林地、农业等生态资源,开展生态旅游,抓住休闲农业、观光林业等经济新增长点,赋予绿色农业、农旅观光等建设方针,促进一二三产业融合发展,以生态保护为前提,全面提高生态系统服务供给能力,将生态系统服务供给能力的提升转化为经济效益,推动产业转型升级,增强单位土地的利用效率与经济效益;加大政府间生态补偿机制的实行和额度分配,吸纳更多优质劳动力和优势资源进行城市需求端的建设,拉动区域生态系统服务需求端的净提升,实现地区经济的绿色发展。

4 结论与讨论

本研究针对有限的国土资源与人类日益增长的物质文化需求以及各区县巨大差异与长三角城市群协调发展之间的矛盾,以生态系统服务为视角,分析了长三角城市群生态系统服务供给与需求的空间分布特征,得到以下结论:(1)长三角城市群生态系统服务供给能力与土地利用类型密切相关,呈现从北到南逐渐升高趋势;(2)长三角城市群生态系统服务需求能力与社会经济发展联系紧密,在长江入海口附近形成生态系统服务需求高值区,然后向外围递减;(3)通过空间梯度分析,各发展带上城市生态系统服务供需大致呈负相关趋势,且由于其发展模式不尽相同,生态系统服务供需分布特征也呈现一定的差异,但是总体来说,省会(直辖市)生态系统服务供给能力较弱,需求较高,而发展带中部城市供给能力增强,需求减弱;(4)基于生态系统服

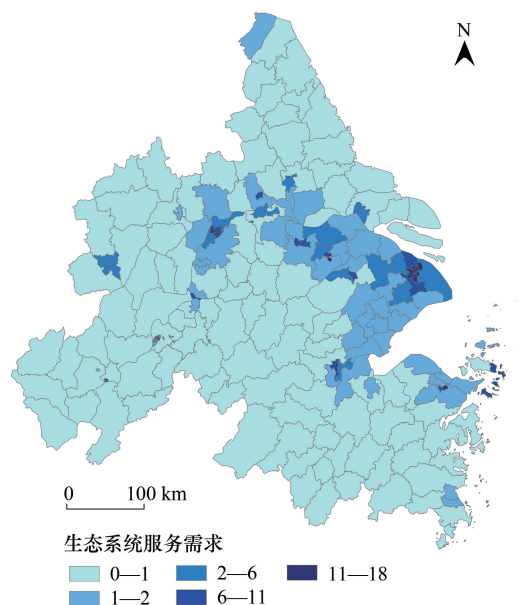
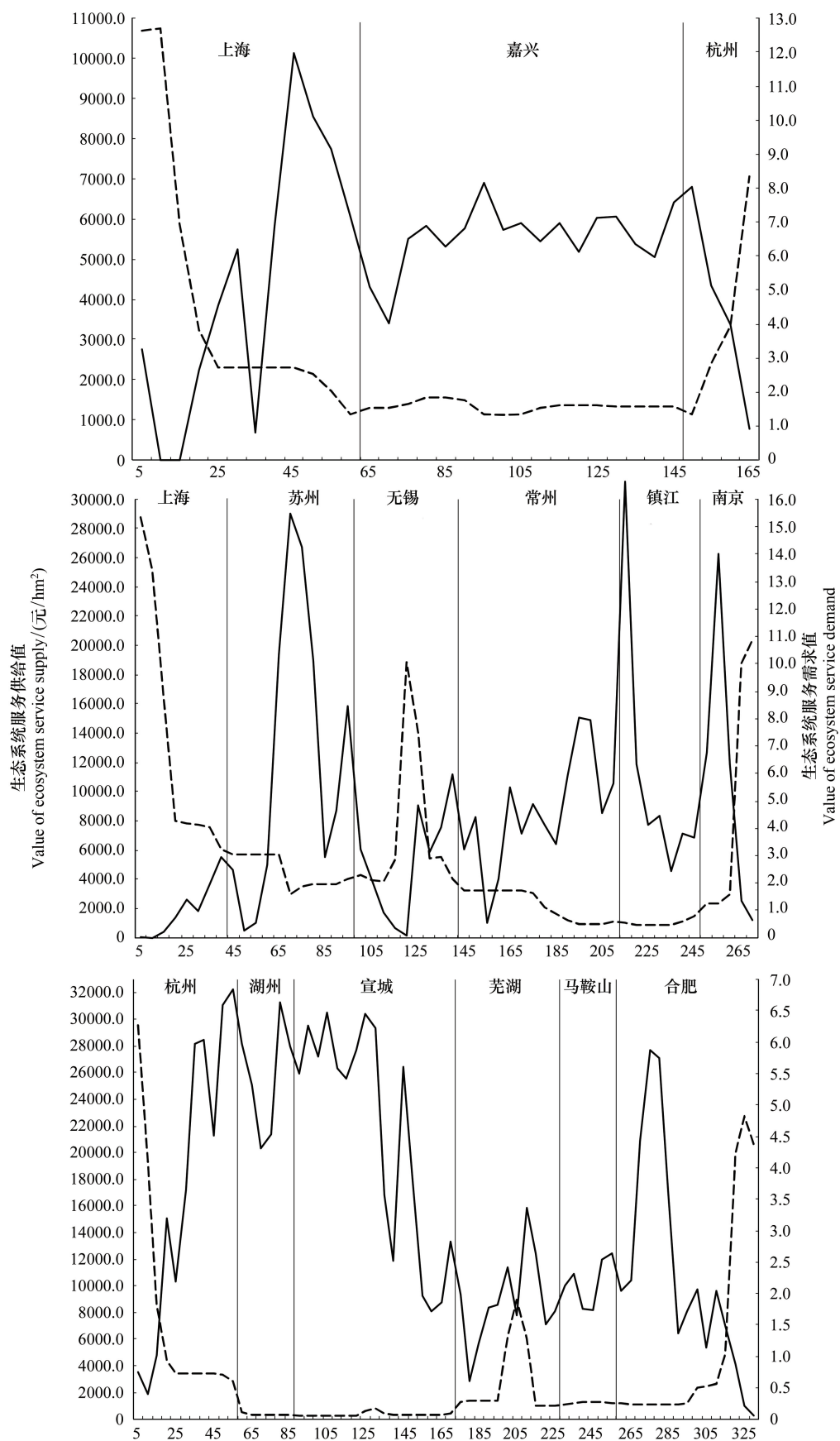


图 6 长三角城市群各区县生态系统服务需求能力

Fig.6 Demand capacity of ecosystem services in all districts and counties of study area



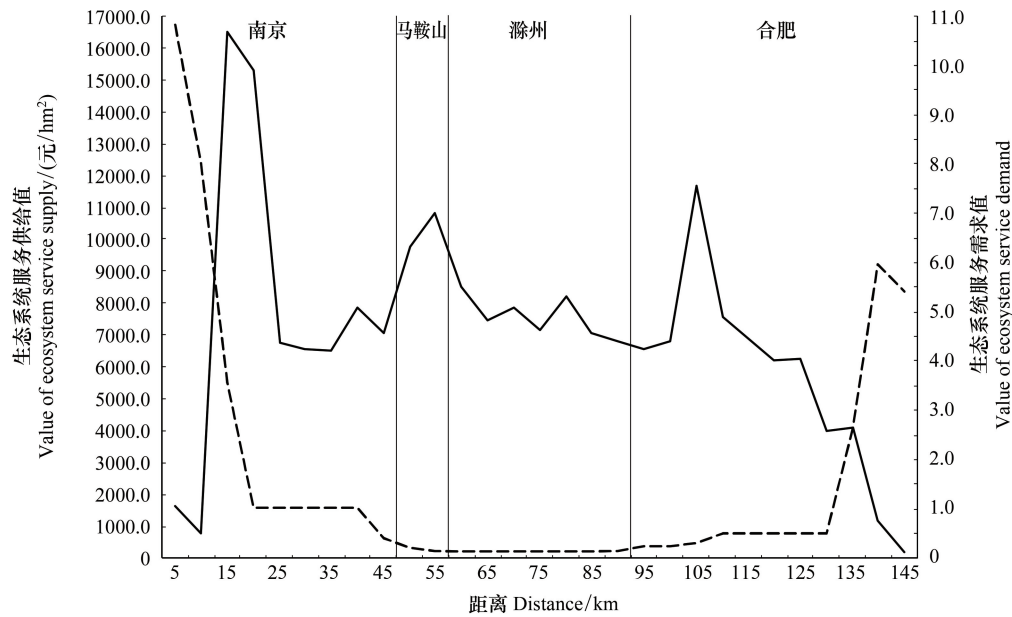


图7 长三角生态系统服务供求值梯度分析

Fig.7 Urban-rural gradient analysis of ecosystem supply-demand in study area

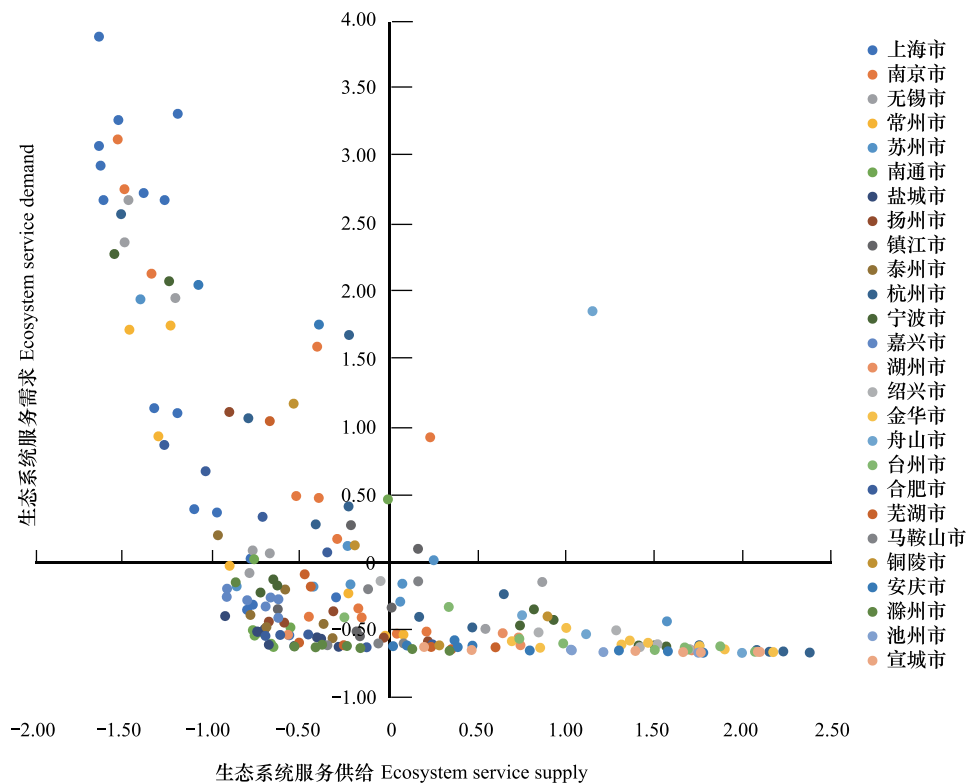


图8 长三角城市群各区县生态系统服务供给与生态系统服务需求分区

Fig.8 Ecosystem service supply and ecosystem service demand division in all districts and counties of study area

务供需关系构建,得到长三角城市群生态格局四大分区:生态保育区(高供给-高需求)、生态修复区(低供给-高需求)、生态重塑区(低供给-低需求)、生态开发区(高供给-低需求),并对各区块提出了差异化规划管理建议,有利于推动长三角城市群缩小地区差异,走向整体化发展新阶段。

表 3 长三角城市群生态格局划分

Table 3 Division of ecological patterns in the Yangtze River Delta			
分区类型 Zoning types	区县数目 Numbers	所属省份 Provinces	区县名称 Names of counties
生态保育区 Ecological conservation area	4	江苏省	南京市玄武区、苏州市虎丘区、镇江市润州区
		浙江省	舟山市普陀区
生态修复区 Ecological restoration area	51	上海市	宝山区、虹口区、黄浦区、嘉定区、静安区、闵行区、浦东新区、普陀区、松江区、徐汇区、杨浦区、闸北区、长宁区
		江苏省	南京市(白下区、鼓楼区、建邺区、栖霞区、秦淮区、下关区、雨花台区);无锡市(北塘区、崇安区、惠山区、江阴市、南长区);常州市(戚墅堰区、天宁区、钟楼区);苏州市(姑苏区、昆山市);南通市(崇川区、港闸区);扬州市广陵区;镇江市京口区;泰州市海陵区
		浙江省	杭州市(滨江区、拱墅区、江干区、上城区、下城区);宁波市(海曙区、江东区)
		安徽省	合肥市(包河区、庐阳区、蜀山区、瑶海区);芜湖市镜湖区;铜陵市(狮子山区、铜官山区);安庆市(大观区、迎江区)
生态重塑区 Ecological remodeling area	71	上海市	崇明县、奉贤区、金山区、青浦区
		江苏省	无锡市锡山区;常州市(溧阳市、武进区、新北区);苏州市(常熟市、太仓市、张家港市);南通市(海安县、海门市、启东市、如东县、如皋市、通州区);盐城市;扬州市(宝应县、邗江区、江都区、仪征市);镇江市(丹徒区、丹阳市、句容市);泰州市(高港区、姜堰市、靖江市、泰兴市、兴化市)
		浙江省	宁波市(慈溪市、江北区、镇海区);嘉兴市;湖州市南浔区;绍兴市越城区;台州市路桥区
		安徽省	合肥市(肥东县、肥西县、庐江县、长丰县);芜湖市(鸠江区、无为县、芜湖县、弋江区);马鞍山(含山县、和县、雨山区);滁州市(定远县、凤阳县、来安县、琅琊区、全椒县、天长市)
生态开发区 Ecological development area	83	江苏省	南京市(高淳县、溧水县);无锡市(滨湖区、宜兴市);常州市金坛市;苏州市(吴江区、吴中区、相城区);扬州市高邮市;镇江市扬中市
		浙江省	杭州市(淳安县、富阳县、建德市、临安市、桐庐县、西湖区、萧山区、余杭区);宁波市(北仑区、奉化市、宁海县、象山县、鄞州区、余姚市);湖州市(安吉县、德清县、吴兴区、长兴县);绍兴市(上虞市、绍兴县、嵊州市、新昌县、诸暨市);金华市;舟山市(岱山县、定海区、嵊泗县);台州市(黄岩区、椒江区、临海市、三门县、天台县、温岭市、仙居县、玉环县)
		安徽省	合肥市巢湖市;芜湖市(繁昌县、南陵县、三山区);马鞍山市(当涂县、花山区);铜陵市(郊区、铜陵县);安庆市(枞阳县、怀宁县、潜山县、太湖县、桐城市、望江县、宿松县);宜秀区;岳西县);滁州市(明光市、南谯区);池州市;宣城市

2018 年欧维新等^[23]采用 Burkhard 等^[9,37]提出的基于专家知识的生态系统服务供需量化矩阵方法,对长三角地区包含上海市、江苏省和浙江省 3 省 16 个城市进行生态系统服务供需研究,得到浙江省湖州、绍兴、台州、宁波等地达到供需均衡甚至盈余(供给>需求)状态,而上海及其周边苏州、无锡等地出现供需赤字(供给<需求)的结果,本文基于生态系统服务供需值的生态格局划分中展示结果与此大致契合。本文生态系统服务供给值核算采用谢高地等人^[27]的价值当量法,该方法已在国内各地区、多尺度层面的研究中进行应用;生态系统服务需求值核算方法基于彭建^[32]、顾康康^[38]、黄志洵^[31]等人的研究,其中彭建等人的研究对象为广东省 21 个地级市,顾康康等人的为安徽省 17 个地级市,黄志洵等人的则为闽三角城市群,研究尺度均为县级区县,与本文研究对象与尺度基本一致,因此,笔者认为该供给与需求核算方法可应用于长三角地区且

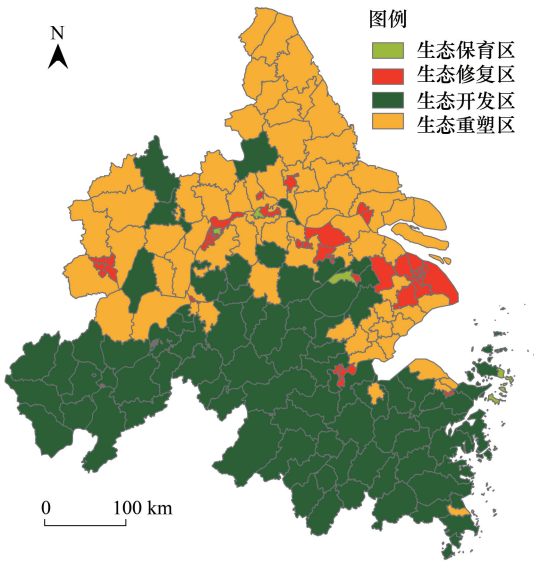


图 9 长三角城市群生态格局分区图
Fig.9 Zoning map of ecological pattern of study area

其结果具有一定的科学价值。

在目前的研究中,对生态系统服务价值、生态系统服务与人类福祉的研究已取得了较多的进展,但关于生态系统服务需求值、供给与需求关系的研究相对较少,本文对两者做了有益的探索。但是,由于目前尚未引入比较成熟的空间量化模型,仍然难以将供给值与需求值化规至统一计量单位进行空间量化;且本文仅以 2015 年一期数据为论证基础,在逻辑完整性上仍有所欠缺;此外,生态系统服务是流动的过程^[38],由于本文注重探讨生态系统服务供求的空间格局特征,对生态系统服务供需值的估计尚不够准确,在后续的研究中应采用多期数据对比并结合生态系统服务流理论进一步完善研究体系。

参考文献 (References):

- [1] van Wensem J, Calow P, Dollacker A, Maltby L, Olander L P, Tuvendal M, van Houtven G. Identifying and assessing the application of ecosystem services approaches in environmental policies and decision making. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 2017, 13 (1): 41-51.
- [2] 彭建, 汪安, 刘焱序, 马晶, 吴健生. 城市生态用地需求测算研究进展与展望. *地理学报*, 2015, 70(2): 333-346.
- [3] Costanza R, D'Arge R, De Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, Van Den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [4] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究. *生态学报*, 1999, 19(5): 607-613.
- [5] Kroll F, Müller F, Haase D, Fohrer N. Rural-urban gradient analysis of ecosystem services supply and demand dynamics. *Land Use Policy*, 2012, 29(3): 521-535.
- [6] Palomo I, Martín-López B, Potschin M, Haines-Young R, Montes C. National Parks, buffer zones and surrounding lands: mapping ecosystem service flows. *Ecosystem Services*, 2013, 4: 104-116.
- [7] Baró F, Haase D, Gómez-Baggethun E, Frantzeskaki N. Mismatches between ecosystem services supply and demand in urban areas: a quantitative assessment in five European cities. *Ecological Indicators*, 2015, 55: 146-158.
- [8] Hou Y, Müller F, Li B, Kroll F. Urban-rural gradients of ecosystem services and the linkages with socioeconomics. *Landscape Online*, 2015, 39 (1): 1-31.
- [9] Burkhard B, Kroll F, Nedkov S, Müller F. Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. *Ecological Indicators*, 2012, 21: 17-29.
- [10] Geijzendorffer I R, Martín-López B, Roche P K. Improving the identification of mismatches in ecosystem services assessments. *Ecological Indicators*, 2015, 52: 320-331.
- [11] Martín-López B, Gómez-Baggethun E, García-Llorente M, Montes C. Trade-offs across value-domains in ecosystem services assessment. *Ecological Indicators*, 2014, 37: 220-228.
- [12] 谢高地, 鲁春霞, 成升魁. 全球生态系统服务价值评估研究进展. *资源科学*, 2001, 23(6): 5-9.
- [13] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 曹淑艳, 肖玉. 生态系统服务的供给、消费和价值化. *资源科学*, 2008, 30(1): 93-99.
- [14] 杨莉, 甄霖, 潘影, 曹晓昌, 龙鑫. 生态系统服务供给-消费研究: 黄河流域案例. *干旱区资源与环境*, 2012, 26(3): 131-138.
- [15] 白杨, 王敏, 李晖, 黄沈发, Alatalo J M. 生态系统服务供给与需求的理论与管理方法. *生态学报*, 2017, 37(17): 5846-5852.
- [16] 吴璇, 王文美, 李洪远, 田野, 张宁. 生态系统服务功能供需研究与应用. *生态经济(学术版)*, 2013, (2): 390-393, 397-397.
- [17] 甄霖, 刘雪林, 魏云洁. 生态系统服务消费模式、计量及其管理框架构建. *资源科学*, 2008, 30(1): 100-106.
- [18] Wei H J, Fan W G, Wang X C, Lu N C, Dong X B, Zhao Y N, Ya X J, Zhao Y F. Integrating supply and social demand in ecosystem services assessment: a review. *Ecosystem Services*, 2017, 25: 15-27.
- [19] Simonit S, Perrings C. Sustainability and the value of the 'regulating' services: wetlands and water quality in Lake Victoria. *Ecological Economics*, 2011, 70(6): 1189-1199.
- [20] 朱立晨, 王豪伟, 唐立娜. 闽三角区域生态系统服务重要性评价及其空间分布. *生态学报*, 2018, 38(20): 7254-7268.
- [21] 傅伯杰, 邱扬, 陈利顶. 景观生态学的原理及应用//全球变化区域响应研究. 长沙: 中国地理学会, 2000.
- [22] 李全, 李腾, 杨明正, 应玮. 基于梯度分析的武汉市生态系统服务价值时空分异特征. *生态学报*, 2017, 37(6): 2118-2125.
- [23] 欧维新, 王宏宁, 陶宇. 基于土地利用与土地覆被的长三角生态系统服务供需空间格局及热点区变化. *生态学报*, 2018, 38(17): 6337-6347.
- [24] 马世发, 艾彬. 基于地理模型与优化的城市扩张与生态保护二元空间协调优化. *生态学报*, 2015, 35(17): 5874-5883.
- [25] 国家发展改革委, 住房城乡建设部. 国家发展改革委 住房城乡建设部 关于印发长江三角洲城市群发展规划的通知. (2016-06-01)[2019-06-01]. http://www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbghwb/201606/t20160603_806390.html.

- [26] 欧阳婷萍. 城市化——解决人地矛盾的重要途径. 城市问题, 2003, (5): 10-13.
- [27] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 肖玉, 陈操. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法. 自然资源学报, 2008, 23(5): 911-919.
- [28] 张彪, 谢高地, 肖玉, 伦飞. 基于人类需求的生态系统服务分类. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(6): 64-67.
- [29] Schröter M, Barton D N, Remme R P, Hein L. Accounting for capacity and flow of ecosystem services: a conceptual model and a case study for Telemark, Norway. *Ecological Indicators*, 2014, 36: 539-551.
- [30] Villamagna A M, Angermeier P L, Bennett E M. Capacity, pressure, demand, and flow: a conceptual framework for analyzing ecosystem service provision and delivery. *Ecological Complexity*, 2013, 15: 114-121.
- [31] 黄智洵, 王飞飞, 曹文志. 耦合生态系统服务供求关系的生态安全格局动态分析——以闽三角城市群为例. 生态学报, 2018, 38(12): 4327-4340.
- [32] 彭建, 杨旻, 谢盼, 刘焱序. 基于生态系统服务供需的广东省绿地生态网络建设分区. 生态学报, 2017, 37(13): 4562-4572.
- [33] 孙娟, 夏汉平, 蓝崇钰, 辛琨. 基于缓冲带的贵港市城市景观格局梯度分析. 生态学报, 2006, 26(3): 655-662.
- [34] 唐秀美, 刘玉, 刘新卫, 潘瑜春, 吴彦澎, 李虹. 基于格网尺度的区域生态系统服务价值估算与分析. 农业机械学报, 2017, 48(4): 149-153, 205-205.
- [35] 赵振斌, 包浩生, 马荣华. 城市格网化及其景观生态效应研究——以西安市为例. 地理科学, 2001, 21(5): 433-438.
- [36] 郭椿阳, 高建华, 樊鹏飞, 姚飞. 基于格网尺度的永城市土地利用转型研究与热点探测. 中国土地科学, 2016, 30(4): 43-51.
- [37] Burkhard B, Kroll F, Müller F, Windhorst W. Landscapes' capacities to provide ecosystem services-a concept for land-cover based assessments. *Landscape Online*, 2009, 15(1): 1-22.
- [38] 肖玉, 谢高地, 鲁春霞, 徐洁. 基于供需关系的生态系统服务空间流动研究进展. 生态学报, 2016, 36(10): 3096-3102.