

DOI: 10.19741/j.issn.1673-4831.2021.0763

方朝阳,蔡振饶,赵华飞,等.南昌市主城区生态系统服务供需匹配的城乡梯度特征研究[J].生态与农村环境学报,2023,39(6):713–722.

FANG Chao-yang, CAI Zhen-rao, ZHAO Hua-fei, et al. Urban-rural Gradient Feature of Matching Ecosystem Services Supply and Demand in the Main Area of Nanchang[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2023, 39(6): 713–722.

南昌市主城区生态系统服务供需匹配的城乡梯度特征研究

方朝阳^{1,2}, 蔡振饶^{1,2①}, 赵华飞³, 何清华^{1,2}, 刘志勇^{1,2} (1. 江西师范大学地理与环境学院, 江西 南昌 330022; 2. 江西师范大学鄱阳湖湿地与流域研究教育部重点实验室, 江西 南昌 330022; 3. 南开大学马克思主义学院, 天津 300457)

摘要: 认识生态系统服务供需匹配的城乡梯度特征是统筹推进城乡生态建设的前提,对城乡居民福祉的提升具有重要意义。以南昌市主城区为例,采用生态系统服务供需相对指数评估供需的空间特征,应用自然间断点分级法对供需状态进行分级,对供需等级叠加生成供需匹配类型,并结合景观结构分析与空间区位识别城乡梯度类别。结果表明:研究区生态系统服务高需求与中需求区域主要位于城市,高供给与中供给区域主要位于乡村。供需匹配类型共有6种,每种类型的景观结构与空间区位不同。研究区城乡梯度类别有6种,分别为城市的内圈、中圈、近郊以及乡村的农业、半生态、生态村,近郊有4种生态系统服务供需匹配类型,乡村端有3种供需匹配类型。生态系统服务供需匹配的城乡梯度受距离梯度与景观梯度的双重作用,空间结构呈现为圈层状。总体上从城市往乡村端需求逐渐减少,供给逐渐增加。研究面向各梯度提出了差异化的调控策略,基于梯度合作视角提出了促进城乡供需互补与流动的生态一体化路径。研究结果可为城乡生态系统服务管理和区域融合发展提供有益的参考。

关键词: 生态系统服务; 供需匹配; 城乡梯度; 生态一体化; 南昌市

中图分类号: X826 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-4831(2023)06-0713-10

Urban-rural Gradient Feature of Matching Ecosystem Services Supply and Demand in the Main Area of Nanchang. FANG Chao-yang^{1,2}, CAI Zhen-rao^{1,2①}, ZHAO Hua-fei³, HE Qing-hua^{1,2}, LIU Zhi-yong^{1,2} (1. School of Geography and Environment, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China; 2. Key Laboratory of Poyang Lake Wetland and Watershed Research of Ministry of Education, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China; 3. School of Marxism, Nankai University, Tianjin 300457, China)

Abstract: Identifying the urban-rural gradient of supply-demand matching of ecosystem services is the premise of overall promotion of urban-rural ecological construction, and is of great significance for the coordinated optimization of urban-rural residents' well-being. Taking the main area of Nanchang city as an example, the paper evaluated the spatial characteristics of supply and demand by using the relative index of ecosystem services supply and demand, classified the supply and demand status by using the method of natural discontinuity, and stacked them yielding a variety of supply and demand matching types. The urban-rural gradient types were identified by combining landscape structure analysis and spatial location. The results show that: The areas with high and medium demand for ecosystem services are mainly located in urban area, while the areas with high and medium supply are mainly located in rural area. There are 6 matching types of supply-demand with different landscape structure and spatial location. There are six types of urban-rural gradient in the study area: urban inner circle, urban middle circle, suburban, agricultural, semi-ecological and ecological villages. There are four types of supply-demand matching types of ecosystem services in the suburban and three types of supply-demand matching types in the rural area. Urban-rural gradient of supply-demand matching of ecosystem services are influenced by distance gradient and landscape gradient, and the spatial structure show a circular layer, which is divided into four layers. In general, from the urban to the rural end, demand gradually decreases and supply gradually increases. The research proposes dif-

收稿日期: 2021-12-08

基金项目: 国家社会科学基金艺术学重大项目(19ZD27); 江西省03专项及5G项目(20212ABC03A09)

① 通信作者 E-mail: 202050000004@jxnu.edu.cn

ferent corresponding regulatory strategies and specific measures for each gradient. Based on the perspective of gradient integration, the ecological integration path is proposed to promote the complementarity and flow of urban-rural supply and demand. The results provide useful references for urban-rural ecosystem service management and regional integrated development.

Key words: ecosystem services; supply-demand matching; urban-rural gradient; ecological integration; Nanchang City

快速工业化和城镇化促使城乡土地利用空间不断转型与重构,引发区域生态环境效应并影响城乡生态系统服务供需平衡^[1]。生态系统服务是生态系统直接或间接向人类提供生命支持的产品和服务,构成人类生存和发展的基础^[2]。从生产和使用的角度来看,生态系统服务可分为生态系统服务供给与需求。生态系统服务供给是指生态系统为人类提供生态系统产品和服务的能力,在特定的时空尺度上直接受到土地利用/土地覆盖的影响^[3]。生态系统服务需求是人类使用或消费的生态系统产品与服务的总和,被定义为满足一个区域人口和经济需求所必需的生态系统服务^[4]。如果不考虑生态系统服务需求,就无法研究生态系统服务供给^[5]。区域生态环境问题的实质是区域生态系统服务供需关系的空间差异或失衡所致^[6]。因此,研究生态系统服务供需状况及数量的空间匹配是制订城乡可持续发展战略的前提,是进行生态系统管理和城乡资源高效配置的一项基础性工作,具有重要的学术价值与现实意义。

近几年来,面向城乡生态管理的生态系统服务供需匹配关系量化与空间制图研究日益成为生态系统服务研究的热点。例如,有学者分析了生态系统服务供需匹配状况以评估生态风险^[7];量化了生态系统服务供需动态以进行生态分区管理^[8];评估了生态系统服务供需之间的错误匹配,并为城市提供管理信息^[9]。现有研究大多基于对空间可视化结果的观察,大致描述了从城市到乡村供需的空间变化特征^[8]。然而城乡地区具有社会生态的复杂性与景观的异质性,因此有必要在空间梯度上进行明确的生态系统服务供需分析。城乡梯度法被广泛用于景观科学和生态学研究,以描述土地利用空间模式^[10]以及城乡地区的生态系统结构和功能^[11],是探索生态系统服务空间变化的有力工具。已有研究初步分析了生态系统服务供给沿城乡间的梯度性变化^[12],但尚未从供给-需求匹配的角度探究空间变化的梯度特征。城乡梯度的研究范式为探索城乡生态系统服务供需匹配的梯度特征提供了科学的指导。

南昌市主城区是南昌都市圈核心区,是区域经

济发展的增长极。然而,生态系统服务供需双方的空间失衡正制约着区域的可持续发展。一方面,在城市快速发展的作用下,人地矛盾逐渐突出,表现出绿地资源稀缺^[13]、热岛效应明显^[14]、碳排放量高^[15]、大气污染^[16]等城市生态问题。另一方面,腹地乡村有良好的生态条件,却不能有效转化为生态价值。南昌市是生态文明先行示范建设区,以高质量发展推进生态文明建设,迫切需要厘清城乡生态系统服务供需匹配的空间规律。因此,笔者以南昌市主城区为例,明晰生态系统服务供需匹配的城乡梯度特征,探讨基于城乡梯度视角的生态管理与城乡融合策略,旨在为统筹推进城乡生态系统建设提供科学依据。

1 研究区概况

南昌市主城区辖 6 个区和 1 个县(图 1),其中西湖区、东湖区南部、青云谱区北部为老城区。研究区是一个地理环境较为独立的城乡综合体,中部以建设用地为主,西部为亚热带森林,城市的北、东、南三面是赣抚平原灌区,以水田为主,未利用地主要分布在东北部,建有国家级湿地自然保护区。区域内水系发达,河湖众多。2018 年户籍人口城镇化率为 61.8%,但城乡收入差距较大。以新建区为例,2018 年乡村居民人均可支配收入为 1.79 万元,仅为城镇居民的 48.8%。研究对村级尺度单元进行了预处理,将小型的林场、果场与邻近的村级单元进行合并,最后需分析的村级尺度单元共 814 个。

2 研究方法数据来源

2.1 研究方法

2.1.1 生态系统服务需求测算

生态系统服务需求与人口密度、经济社会发展水平密切相关^[17],所以选用人口密度、兴趣点(POI)与夜间灯光数据表征需求水平。先从网络上下载人口密度和夜间灯光的空间栅格数据,采用核密度分析方法得到 POI 的空间栅格图。接着对 POI 核密度数据、人口密度与夜间灯光数据进行归一化处理,采用等权重叠加,获取每个栅格的生态系统服务需求值。最后采用模糊隶属度方法(使结果值

保持在 0~1 之间),得到生态系统服务需求相对指数^[18]。研究用生态系统服务需求相对指数反映需求的潜势,以量化需求在城乡间的变化特征。

2.1.2 生态系统服务供给测算

综合考虑南昌市主城区生态系统结构和数据的可获取性,选取 4 种典型生态系统服务:生境质量、固碳、土壤保持和水源涵养服务。这 4 种服务之间有协同关系^[19-20],通常被作为表征区域生态健康与安全的关键指标^[21-22],基于它们构造的综合指数可充分揭示生态系统服务供给的综合水平,能准确

量化生态健康导向下的城乡分异。

研究采用 InVEST 模型测度生境质量、固碳与土壤保持服务,利用水量平衡方程计算区域的水源涵养能力^[23](表 1),计算过程中涉及的相关生物物理属性参数主要参考前人在气候相近区域的相关研究^[24-25]。接着将 4 种生态系统服务评估结果进行归一化处理,再进行等权重叠加,得到每个栅格的生态系统服务供给值^[26]。最后通过归一化处理得到生态系统服务供给相对指数。

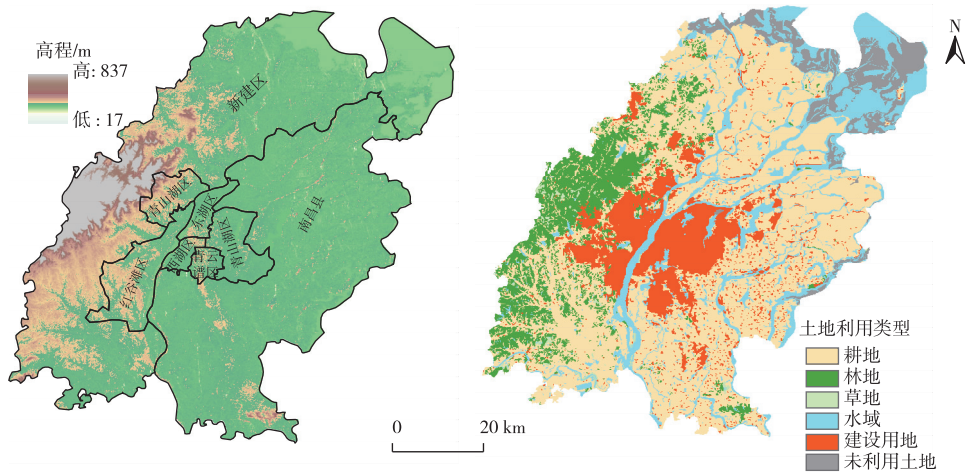


图 1 研究区高程和土地利用类型
Fig.1 Attitude and land use types of the study area

表 1 生态系统服务供给的测算方法
Table 1 Calculation methods of ecosystem service supply

类型	计算公式	变量解释
生境质量	$Q_{sj} = H_j \times \left(1 - \frac{D_{sj}}{D_{sj} + K_z}\right)$	Q_{sj} 为土地利用类型 j 的第 x 个栅格的生境质量; D_{sj} 为土地利用类型 j 的第 x 个栅格的生境胁迫度; H_j 为生境适宜性高低; K_z 为半饱和常数
固碳	$C_{tot} = C_{above} + C_{below} + C_{soil} + C_{dead}$	C_{tot} 为总碳储量, $t \cdot km^{-2}$; C_{above} 为地上碳储量, $t \cdot km^{-2}$; C_{below} 为地下碳储量, $t \cdot km^{-2}$; C_{soil} 为土壤碳储量, $t \cdot km^{-2}$; C_{dead} 为死亡有机物碳储量, $t \cdot km^{-2}$
土壤保持	$S = Q - U, Q = R \times K \times L, U = R \times K \times L \times C \times P$	S 为土壤保持量; Q 为潜在侵蚀量; U 为实际侵蚀量; R 为降雨侵蚀力因子; K 为土壤可侵蚀性因子; L 为坡度坡长因子; C 为植被覆盖管理因子; P 为水土保持措施因子
水源涵养	$Q_T = \sum_{i=1}^j (P_i - R_i - E_i) \times A_i \times 103, R_i = P_i \times \alpha$	Q_T 为总水源涵养量, m^3 ; P_i 为 i 类生态系统多年平均降水量, mm ; R_i 为 i 类生态系统多年平均地表径流量, mm ; E_i 为蒸散发量, mm ; A_i 为 i 类生态系统面积, km^2 ; α 为地表径流系数, %

2.1.3 供需匹配类型的识别

自然间断点分级法是基于数据中固有的自然分组,对分类间隔加以识别,对相似值进行最恰当的分组,使各个类之间的差异最大化^[27]。首先在获得生态系统服务供需相对值的基础上采用自然间断点分级法进行分级,共分为 3 个等级。再将需求等级与供给等级进行叠加,生成供需匹配类型。

2.1.4 城乡梯度的识别

在明确生态系统服务供需匹配类型的基础上对不同匹配类型的城乡梯度进行识别,识别的依据来源于各种匹配类型的景观结构特征及其空间区位。景观结构是城乡梯度识别的重要指标^[28],研究将土地利用类型分为 3 种景观类型:农业用地(水田、旱地)、建设用地(城乡、工矿、居民用地)与生态

用地(林地、草地、水域、沼泽地)。利用 ArcGIS 10.5 软件计算各村级单元每种景观类型的面积占比,选择箱线图比较各种匹配类型的景观结构特征,并基于景观结构的异质性初步判断出城乡梯度类别。当箱线图的异常值较多时,采用 K-均值聚类法对异常值进行聚类分析,进而对聚类结果进行比较分析,再判断出城乡梯度类别。当异常值数量较少时采用另一种方法,即利用 ArcGIS 10.5 可视化方法观察异常值的空间区位,结合其景观结构判断出合适的梯度类别。

2.2 数据来源

研究所需的 2018 年 30 m 土地利用数据、人口栅格数据来源于中国科学院资源环境科学与数据中心。地形数据为 30 m 空间分辨率的 DEM 数字高程数据,来自地理空间数据云网站(<http://www.gscloud.cn/>)。降水量、气温、日照与蒸散发量的栅格数据(2018 年)主要用来计算水源涵养功能,数据来自中国气象数据网站(<https://data.cma.cn/>)。土壤数据源于世界土壤数据库([http://westdc.westgis.](http://westdc.westgis.ac.cn/)

[ac.cn/](http://westdc.westgis.ac.cn/)),用来计算土壤保持功能。夜间灯光数据采用 2018 年珞珈一号 01 星夜光遥感数据(<http://59.175.109.173:8888/app/login.html>)。POI 数据类型包括旅游景点、诊所、中小学、幼儿园、餐馆、超市,通过高德地图网站(<https://www.amap.com/>)获得,数量为 16 833 个。交通数据来源于 Open Street Map 的道路数据。村级尺度数据来源于第 3 次全国国土调查。

3 研究结果

3.1 生态系统服务供需格局

研究利用自然间断点分级法将表征生态系统服务需求的 3 个指标划分为 5 级,如图 2 所示,3 个指标指数的高值区均位于主城区中心,但存在一定的空间差异。人口密度与 POI 核密度指数在空间分布上更为集中,其中老城区指数值最高,处于老城东南方向的南昌县城是较为独立的高值区。夜间灯光指数以城市中心为高值,在城市的主干道与郊区也有较高的数值。

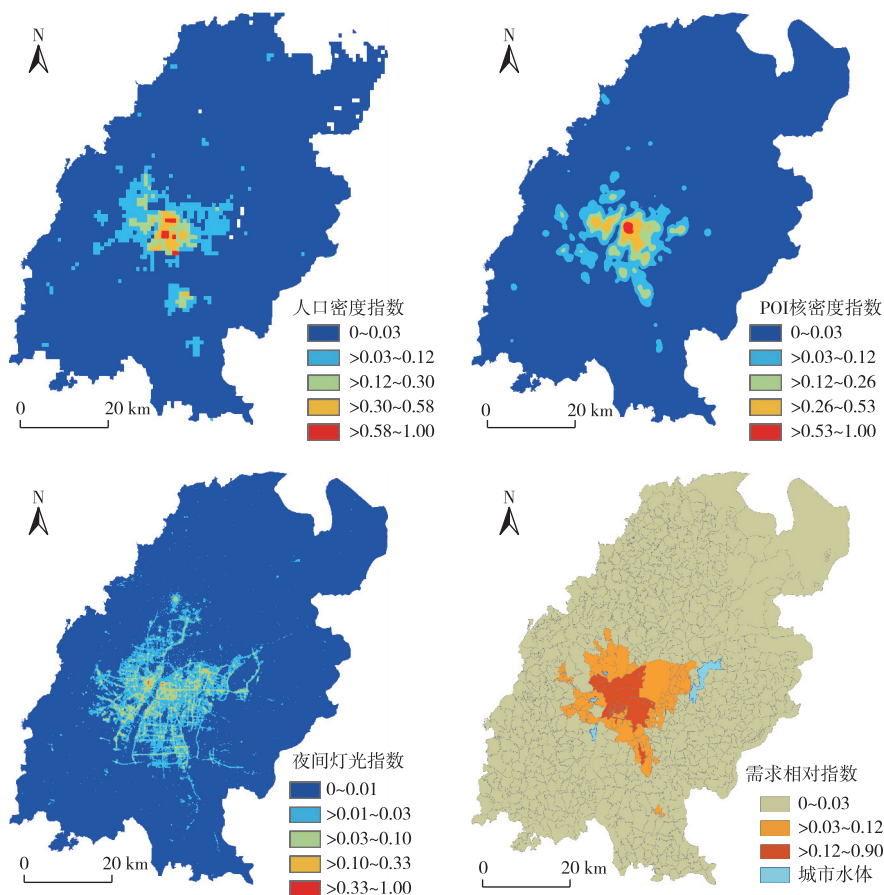


图 2 南昌市主城区生态系统服务需求格局

Fig. 2 Spatial distribution of ecosystem service demand in main urban area of Nanchang

将生态系统服务需求相对指数按照自然断点法划分为3级(图2),指数的高值区集中在老城区以及赣江西岸的红谷滩核心区;中值区主要集中在老城区周边的城区,该片区为城市发展的成熟区域,公共服务配套设施齐全,人口密度较高;低值区主要是广大的农村和城乡结合部,人口密度较低,服务设施较少,对生态系统服务的需求较少。

采用自然间断点分级法将研究区表征生态系统服务供给能力的4个指标分为5级,结果如图3

所示。主城区西部的梅岭山地是这4种服务指数的高值区,具有最高的生态健康水平。东北部湖区的生境质量较高,乡村中范围最大的水田区有较强的固碳能力,土壤保持服务在空间分布上呈两级分化(除了梅岭山地,其他区域为低值区)。从生态系统服务供给相对指数来看,指数高值区位于西部的山地与丘陵区、东北部的湖区,中值区位于农业区,低值区位于城市。

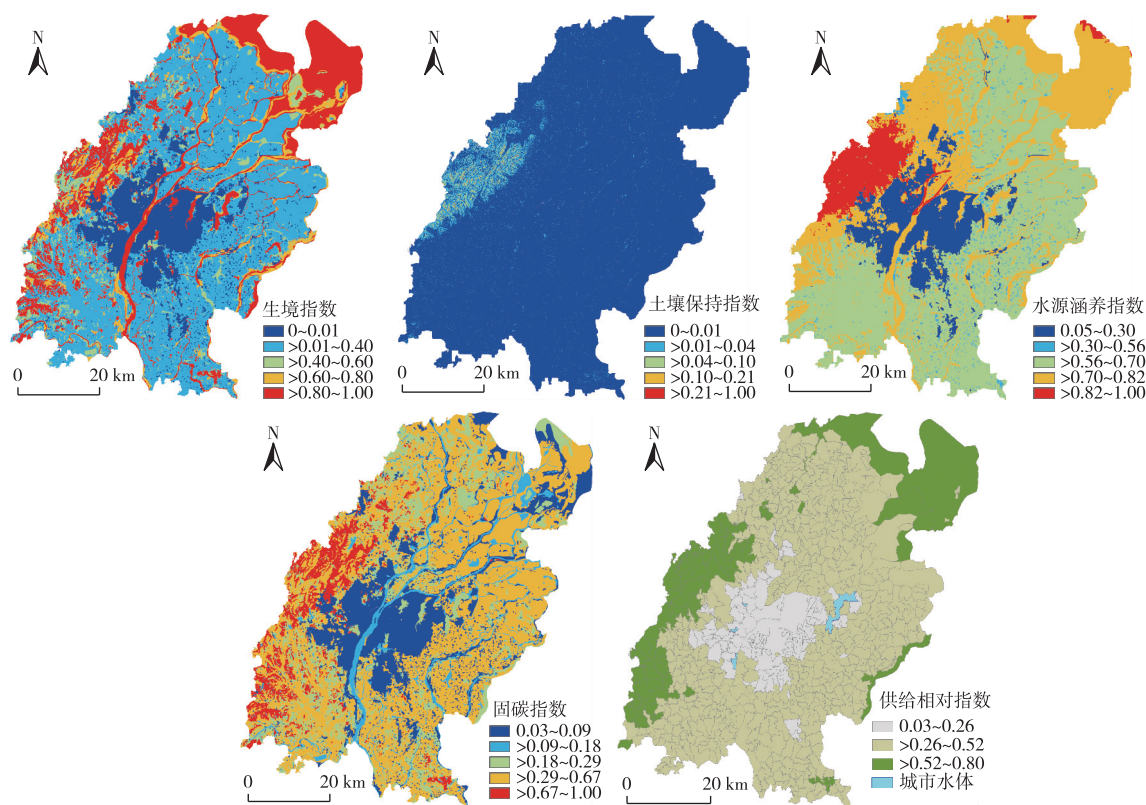


图3 南昌市主城区生态系统服务供给格局

Fig.3 Spatial distribution of ecosystem service supply in main urban area of Nanchang

3.2 生态系统服务供需匹配类型的空间格局

将生态系统服务需求相对指数与供给相对指数进行叠加,得到供需匹配类型。从图4可见,研究区生态系统服务供需匹配类型可分为6类。低需求-高供给型村主要位于西部的丘陵和东北部的湖区,其生态系统服务供给能力最强,但人口密度最低,生态系统服务需求最少。低需求-中供给型村位于赣抚平原,有一定的生态系统服务供给能力,但需求较低。低需求-低供给型村主要位于城市西北部赣江新区、西南部的红谷滩新区、东北部的高新区、南昌县的小蓝经开区,这些区域是经济开发与产业新区,新建了大量的厂房与小区,但常住

人口数不及城市核心区,导致生态系统服务需求较低而供给不足。中需求-中供给型村紧邻城市核心区,需求较高,因临近山体或水体,供给水平较高。中需求-低供给型村位于城市核心区,人口密度较大,需求高但供给不足。该类型中有数个村级单元与主体脱离,它们为经济发展水平较高的强镇中心(如铁路枢纽一向塘镇、国家级经济强镇—麻丘镇)。高需求-低供给型村位于老城区,需求最高但供给最少。

3.3 生态系统服务供需匹配的城乡梯度识别

研究测度了6种供需匹配类型的景观结构(图5),并结合空间区位识别城乡梯度类别。低需求-

高供给型村有较低的农业用地占比、最低的建设用地占比、最高的生态用地占比,可判断该类型村为生态村。在低需求-中供给型中,大部分村有较高的农业用地占比、较低的建设用地和生态用地占比,这些村可划分为农业村。小部分村显示为异常值,将异常值提取出来,对每种景观类型的面积占比进行聚类分析,得到了 2 种乡村类型(图 6)。第 1 种类型的建设用地占比小、农业用地占比适中、生态用地占比较高,属于农业村与生态村的过渡型村,可将其定义为半生态村。第 2 种类型的农业用地、建设用地、生态用地均有一定的占比,说明为城市边缘地带,研究将其识别为近郊(景观混合型)。中需求-中供给型村的农业用地、建设用地、生态用地的面积占比相当,结合其紧邻山体、水体的区位特征(图 3),将其识别为近郊(景观混合型)。低需求-低供给型村的建设用地占比高,农业用地占比适中,而生态用地占比小,结合其空间区位,可将其定义为近郊(新区)。大部分中需求-低供给型村的建设用地占比较高(接近 80%),考虑其空间区位,可判定该类型村为城市内圈。小部分该类型村呈现为异常值,有较高比例的农业用地与生态用地,结合图 4 发现这些村疏离于主体,可定义为近郊

(强镇)。高需求-低供给型村的建设用地占比最高,结合其空间区位,可识别为城市内圈。

研究从中需求-低供给型村分类出城市中圈和近郊,对存在 4 种供需匹配类型的近郊进行合并,结合其余 4 种被识别的城乡梯度类别,在 GIS 空间可视化的基础上,得到了城乡梯度类别图(图 7)。

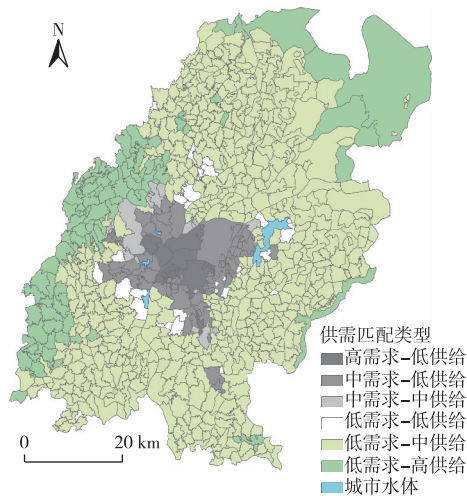


图 4 生态系统服务供需匹配类型的空间格局

Fig. 4 Spatial distribution of supply-demand matching type of ecosystem services

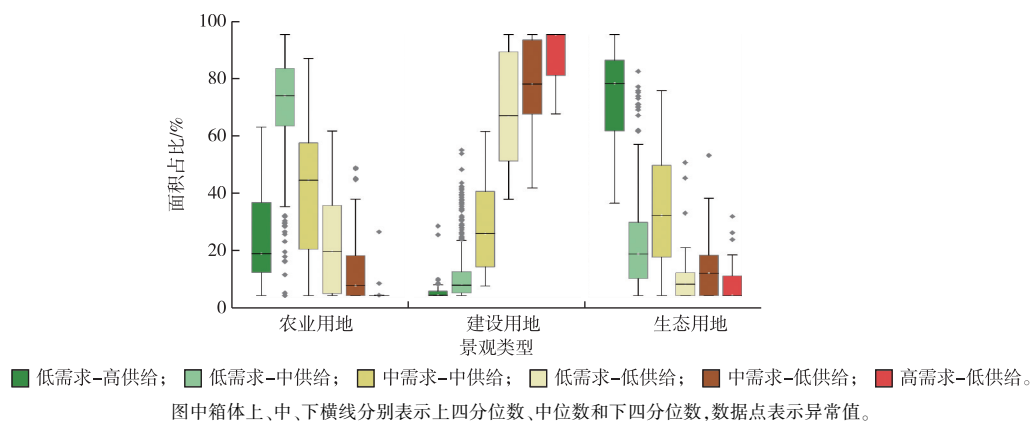


图 5 每种生态系统服务供需匹配类型的景观结构

Fig. 5 Landscape structure of each type of supply-demand matching of ecosystem services

3.4 生态系统服务供需匹配的城乡梯度模型

基于上文的分析,架构了生态系统服务供需匹配的城乡梯度理论模型(图 8)。该模型呈圈层状的空间结构,由城市中心向外可分为 4 层。第 1 层是城市内圈,是市中心的老城区,生态系统服务供需匹配类型为高需求-低供给型。第 2 层为城市中圈,是建成较晚的城市核心区,供需匹配类型为中需求-低供给型。第 3 层为城市近郊,因景观的异质性产生了 4 种供需匹配类型与 3 种次级梯度类

别,分别是中需求-中供给型与低需求-中供给型的景观混合型村、中需求-低供给型的强镇中心、低需求-低供给型的新区。由于城市近郊处于城市与乡村力量的交互作用区域,社会生态背景复杂,为供需匹配类型的多样化提供了土壤。第 4 层是外围的乡村区域,由 2 种供需匹配类型、3 种梯度类别村组成,分别为低需求-高供给型的生态村与低需求-中供给型的农业村、半生态村,原因在于乡村端农业景观与生态景观的分异与过渡。生态系统服务供

需匹配的城乡梯度复杂性在于其受距离梯度(距市中心距离)与景观梯度(景观的城乡分异)的双重作用。总体上,从城市往乡村需求逐渐减少,供给逐渐增加。

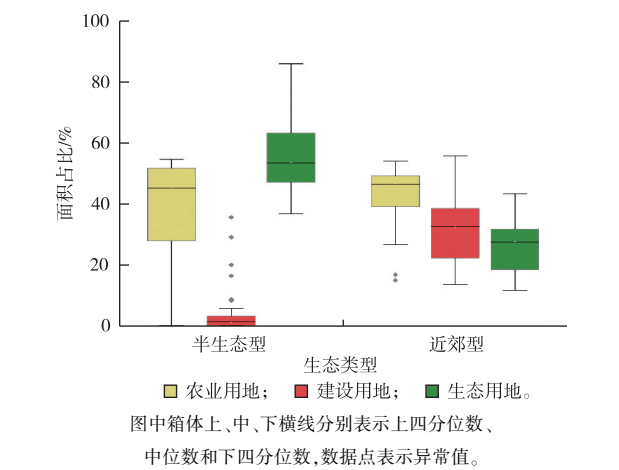


图6 低需求-中供给型(非农业村)类型的景观结构

Fig. 6 Landscape structure of low demand-medium supply type (non-agricultural village)

4 讨论

4.1 面向各梯度的供需调控策略

鉴于不同城乡梯度生态系统服务供需匹配的异质性,为实现区域可持续发展目标,有必要为各梯度实施分区管理。以各梯度区的匹配类型为依据,结合《南昌市国民经济和社会发展第十四个五年规划》《南昌市公园体系发展规划(2021—2035年)》和主城区地理条件,为不同梯度区提出供需优化策略(表2)。

表2 不同城乡梯度区的供需匹配优化方向与措施

城乡梯度类别	供需调控重点	管理策略
城市内圈	控制需求,增加供给	城市更新,人口疏解,“拆违建绿,见缝插绿”
城市中圈	适度增加供给	完善公园体系,增补蓝绿空间
城市近郊	增加需求,提升供给质量	引导人口集聚,推进绿环建设
农业村	维护供需平衡	加强耕地保护,推进高标准农田建设
半生态村	适当增加需求	推动农旅融合发展
生态村	适度增加需求,保障供给安全	适度发展旅游,划定生态保护红线

城市内圈人口密集,生态空间面积小,生态系统服务需求高而供给低,人地矛盾和生态问题突出,因此应提高区域的生态系统服务供给水平,引导需求外溢。一方面,在通过城市更新计划改善生活品质的同时引导人口向新区转移;另一方面,基于旧城改造行动增加绿地面积,打造赣江沿线滨江

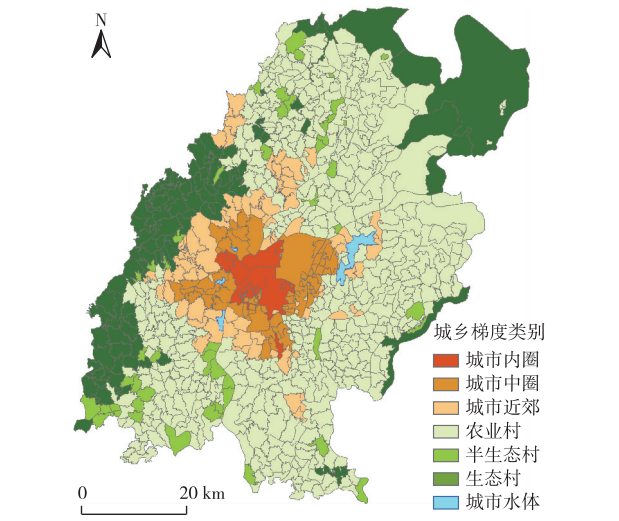


图7 城乡梯度类别

Fig. 7 Urban-rural gradient types

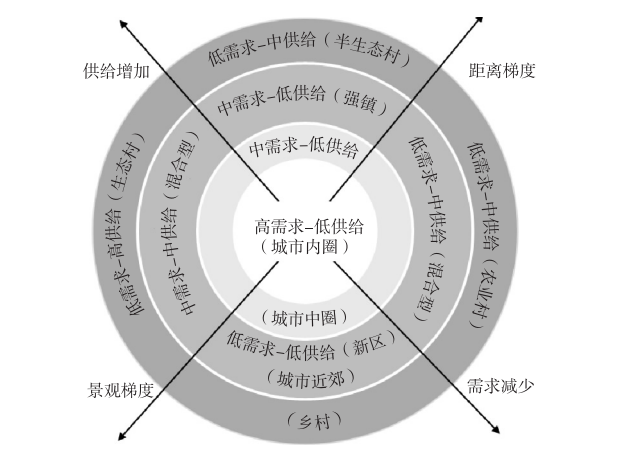


图8 生态系统服务供需匹配的城乡梯度模型

Fig. 8 Urban-rural gradient model for supply-demand matching of ecosystem services

景观,推进绿道与游园建设。城市中圈目前正处于产业与人口集聚阶段,为营造良好的就业与生活环 境,应提升生态系统服务供给水平,推进城市公园 体系建设,重点打造滨湖湿地公园。城市近郊是城 市发展的扩展区,生态系统服务需求增长快,应在 需求增长过程中提升生态供给质量。一方面,推动

该区各功能板块集约高效开发,提升新区对人口的吸引能力;另一方面,利用规划手段增加生态空间面积占比,打造城市休闲风景环,促进城市与自然景观融合。农业村肩负着保障农产品供给安全的重要责任,应加强耕地资源保护,保持生态系统服务供需匹配的动态平衡。半生态村可适度增加需求,推进田园综合体建设,推广休闲农业、生态农业模式,推动农业与生态旅游融合发展。生态村的调控重点应以保育为主,限制开发。一方面,科学划定生态保护红线,构建生态安全屏障;另一方面,可借助其良好的生态优势,适度开发旅游资源等。

4.2 面向梯度合作的生态一体化策略

梯度差异的存在为梯度合作提供了基础,建议决策者协调梯度差异,加强城乡生态一体化,实现生态系统服务供需互补与统筹规划。供需互补依赖于生态系统服务在不同梯度间的自由流动,这需要借助生态系统服务流的理论工具。一种观点认为,生态系统服务流为供给从源头到汇的传递机制和生态过程^[29],流量、流向等指标是其重要表征。因此,可从生态系统服务流的供给出发,增加从生态村流向城市内圈、中圈与近郊的服务流量,增加流动路径。如图 9 所示,基于绿道和水系网络、环城公园环、区域风景环构建的城乡生态网络,紧密地将城市与乡村联系起来,为城乡气体交换、动物迁徙提供通道,弥补了城乡生态系统服务供给的过大差距。另一种观点认为,生态系统服务流是人类为了获得生态系统服务而从汇走向源头的过程,其典型的服务类型是生态系统文化服务^[30]。生态村、半生态村因其良好的生态质量与美丽的自然风光,使得其在美学价值、科研教育、游憩服务等文化生态系统服务方面具有重要的价值。为整合生态系统服务的城乡梯度差异,有必要推动人向自然的便捷流动,缓解城市需求紧张和乡村供给过剩的矛盾。由于南昌市主城区临山傍水,城市周边有较多的生态村、半生态村,决策者需考虑完善城乡路网,让城市不同梯度的居民更快速地进入自然。

4.3 研究不足与展望

研究从城乡梯度视角揭示了南昌市主城区生态系统服务供需匹配的空间特征,提出了针对不同梯度的差异化管理策略和有利于梯度合作的生态一体化路径。从研究结果上来看,已有研究较多基于生态系统服务供需匹配的可视化结果进行描述分析^[32],较少总结出空间规律。该研究采用了城乡梯度识别方法探讨了生态系统服务供需匹配的城乡梯度特征及空间模式,是对生态系统服务供需关

系研究的重要尝试。从研究目的上来看,已有研究从生态管理角度探讨了城市分区管理^[33],忽视了人类需求与区域之间的统筹协调。该研究提出了基于城乡梯度视角的城乡分区管理及生态一体化方案,以期优化区域生态系统服务匹配关系并促进区域间协调。

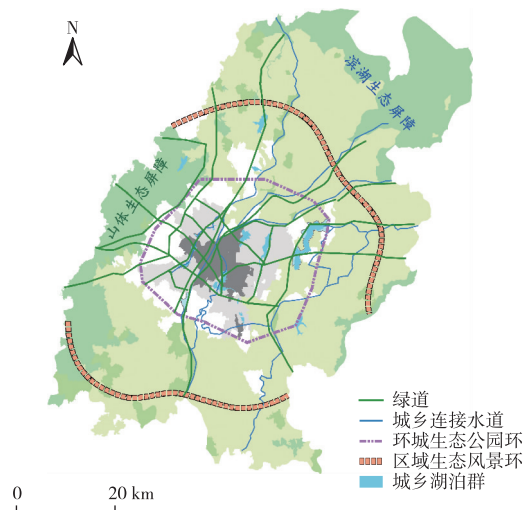


图 9 城乡生态一体化网络^[31]

Fig. 9 Urban-rural ecological integration network

总体上,研究可为城市生态保护规划和发展规划提供有价值的参考,有利于生态安全和区域协调发展。然而,该研究在探索将城乡梯度概念融入生态系统服务评估与实践应用的过程中仍存在些许不足。该研究采用生境质量、水源涵养等能评价区域生态健康的服务类型来揭示生态系统服务供给的空间异质性,但对关键服务的筛选、方法的选择是否科学,仍然有待后续的对比研究和实地调研。此外,该研究在归一化方法基础上获取的生态系统服务供需相对指数不能完全表征各梯度的需求与供给差异。目前,生态系统服务供需指标体系的构建与评估精度的提高仍是学界的难点^[34],未来的研究需重点考虑从这两方面进行优化。

5 结论

(1)南昌市主城区生态系统服务的高需求与中需求区域主要位于城市,服务的高供给与中供给区域主要位于乡村。研究区生态系统服务供需匹配类型有 6 种,并有其对应的景观结构与空间区位特征。

(2)研究区城乡梯度类别有 6 种,分别为城市内圈、城市中圈与近郊、农业村、半生态村与生态

村,城市近郊有4种生态系统服务供需匹配类型,乡村端有3种。生态系统服务供需匹配的城乡梯度受距离梯度与景观梯度的双重作用,空间结构呈现为圈层状,分为4层。总体上从城市往乡村端需求逐渐减少,供给逐渐增加。

(3)为各梯度提出差异化的供需调控策略:城市内圈要控制需求,增加供给;中圈要适当增加供给;近郊则在需求增加的同时提升供给质量;农业村要维护供需平衡;半生态村要适当增加需求;生态村在保障供给安全的同时要适当增加需求。研究结果可为决策者对全域进行统筹规划,优化生态系统服务流动网络,实现城乡供需互补提供参考。

参考文献:

- [1] 刘春芳,薛淑艳,乌亚汗.土地整治的生态环境效应:作用机制及应用路径[J].应用生态学报,2019,30(2):685-693.[LIU Chun-fang,XUE Shu-yan,WU Ya-han.Ecological Environmental Effects of Land Consolidation: Mechanism of Action and Application Path[J].Chinese Journal of Applied Ecology,2019,30(2):685-693.]
- [2] 程宪波,陶宇,欧维新.生态系统服务与人类福祉关系研究进展[J].生态与农村环境学报,2021,37(7):885-893.[CHENG Xian-bo,TAO Yu,OU Wei-xin.Research Progress on the Relationship between Ecosystem Service and Human Well-being[J].Journal of Ecology and Rural Environment,2021,37(7):885-893.]
- [3] HORI J,MAKINO M.The Structure of Human Well-being Related to Ecosystem Services in Coastal Areas:A Comparison among the Six North Pacific Countries[J].Marine Policy,2018,95:221-226.
- [4] BUKVAREVA E,ZAMOLODCHIKOV D,KRAEV G,et al.Supplied,Demanded and Consumed Ecosystem Services:Prospects for National Assessment in Russia[J].Ecological Indicators,2017,78:351-360.
- [5] MEHRING M,OTT E,HUMMEL D.Ecosystem Services Supply and Demand Assessment:Why Social-ecological Dynamics Matter[J].Ecosystem Services,2018,30:124-125.
- [6] 刘立程,刘春芳,王川,等.黄土丘陵区生态系统服务供需匹配研究:以兰州市为例[J].地理学报,2019,74(9):1921-1937.[LIU Li-cheng,LIU Chun-fang,WANG Chuan,et al.Supply and Demand Matching of Ecosystem Services in Loess Hilly Region:A Case Study of Lanzhou[J].Acta Geographica Sinica,2019,74(9):1921-1937.]
- [7] MENG Q X,ZHANG L K,WEI H J,et al.Linking Ecosystem Service Supply-demand Risks and Regional Spatial Management in the Yihe River Basin,Central China[J].Land,2021,10(8):843.
- [8] CHEN F Y,LI L,NIU J Q,et al.Evaluating Ecosystem Services Supply and Demand Dynamics and Ecological Zoning Management in Wuhan,China[J].International Journal of Environmental Research and Public Health,2019,16(13):2332.
- [9] CAI W B,JIANG W,DU H Y,et al.Assessing Ecosystem Services Supply-Demand (Mis) Matches for Differential City Management in the Yangtze River Delta Urban Agglomeration[J].International Journal of Environmental Research and Public Health,2021,18(15):8130.
- [10] VAN VLIET J,BIRCH-THOMSEN T,GALLARDO M,et al.Bridging the Rural-urban Dichotomy in Land Use Science[J].Journal of Land Use Science,2020,15(5):585-591.
- [11] DU TOIT M J,DU PREEZ C,CILLIERS S S.Plant Diversity and Conservation Value of Wetlands along a Rural-urban Gradient[J].Bothalia,African Biodiversity & Conservation,2021,51(1):45-62.
- [12] 蔡振铎,方朝阳,何清华,等.基于景观聚类的南昌市主城区城乡梯度识别及其生态系统服务响应[J].环境科学研究,2022,35(3):806-817.[CAI Zhen-rao,FANG Chao-yang,HE Qing-hua,et al.Urban-rural Gradient Identification and Ecosystem Service Response in Main Urban Area of Nanchang Based on Landscape Clustering[J].Research of Environmental Sciences,2022,35(3):806-817.]
- [13] 李辉丹,叶长盛,华吉庆.南昌市土地利用变化对生态系统服务价值影响[J].水土保持研究,2020,27(3):277-285,293.[LI Hui-dan,YE Chang-sheng,HUA Ji-qing.Impact of Land Use Change on Ecosystem Service Value in Nanchang City[J].Research of Soil and Water Conservation,2020,27(3):277-285,293.]
- [14] 谢哲宇,黄庭,李亚静,等.南昌市土地利用与城市热环境时空关系研究[J].环境科学与技术,2019,42(S1):241-248.[XIE Zhe-yu,HUANG Ting,LI Ya-jing,et al.Study on the Relationship between Spatial-temporal Evolution of Land Use and of Urban Heat Environment in Nanchang[J].Environmental Science & Technology,2019,42(S1):241-248.]
- [15] 吾买尔艾力·艾买提卡力,阿巴拜克热·艾买提卡力,范昕,等.2000—2018年环鄱阳湖生态城市群碳排放时空分异规律及影响因素分析[J].生态经济,2021,37(6):51-57,86.[AIM-AITIKALI W,AIMAITIKALI A,FAN Xin,et al.Spatial and Temporal Differentiation of Carbon Emissions in Urban Agglomeration around Poyang Lake from 2000 to 2018 and Its Influencing Factors[J].Ecological Economy,2021,37(6):51-57,86.]
- [16] 李琪,陈文波,郑蕉,等.南昌市中心城区绿地景观对PM_{2.5}的影响[J].应用生态学报,2019,30(11):3855-3862.[LI Qi,CHEN Wen-bo,ZHENG Jiao,et al.Influence of Greenspace Landscape Pattern on PM_{2.5} in the Center Urban Area of Nanchang,China[J].Chinese Journal of Applied Ecology,2019,30(11):3855-3862.]
- [17] 顾康康,杨倩倩,程帆,等.基于生态系统服务供需关系的安徽省空间分异研究[J].生态与农村环境学报,2018,34(7):577-583.[GU Kang-kang,YANG Qian-qian,CHENG Fan,et al.Spatial Differentiation of Anhui Province Based on the Relationship between Supply and Demand of Ecosystem Services[J].Journal of Ecology and Rural Environment,2018,34(7):577-583.]
- [18] 徐凌晨,杨德伟,刘丹丹,等.青藏高原生态系统服务的时空分布特征与供需关系[J].山地学报,2020,38(4):483-494.[XU Ling-xing,YANG De-wei,LIU Dan-dan,et al.Spatio-temporal Distribution Characteristics and Supply-demand Relationships of Ecosystem Services on the Qinghai-Tibet Plateau,China[J].Mountain

- Research, 2020, 38(4): 483–494.]
- [19] 韦钧培, 杨云川, 谢鑫昌, 等. 基于服务簇的南宁市生态系统服务权衡与协同关系研究[J]. 生态与农村环境学报, 2022, 38(1): 21–31. [WEI Jun-pei, YANG Yun-chuan, XIE Xin-chang, *et al.* Quantifying Ecosystem Service Trade-offs and Synergies in Nanning City Based on Ecosystem Service Bundles[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2022, 38(1): 21–31.]
- [20] 孟浩斌, 周启刚, 李明慧, 等. 三峡库区生态系统服务时空变化及权衡与协同关系研究[J]. 生态与农村环境学报, 2021, 37(5): 566–575. [MENG Hao-bin, ZHOU Qi-gang, LI Ming-hui, *et al.* Study of the Spatio-temporal Changes in Ecosystem Services and Trade-offs/ Synergies Relationship in the Three Gorges Reservoir Area[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2021, 37(5): 566–575]
- [21] 宋婷, 李岱青, 张林波, 等. 秦巴山脉区域生态系统服务重要性评价及生态安全格局构建[J]. 中国工程科学, 2020, 22(1): 64–72. [SONG Ting, LI Dai-qing, ZHANG Lin-bo, *et al.* Importance Evaluation of Ecosystem Services and Construction of Ecological Security Pattern in Qinba Mountain Area[J]. Strategic Study of CAE, 2020, 22(1): 64–72.]
- [22] 高梦雯, 胡业翠, 李向, 等. 基于生态系统服务重要性和环境敏感性的喀斯特山区生态安全格局构建: 以广西河池为例[J]. 生态学报, 2021, 41(7): 2596–2608. [GAO Meng-wen, HU Ye-cui, LI Xiang, *et al.* Construction of Ecological Security Pattern Based on the Importance of Ecosystem Services and Environmental Sensitivity in Karst Mountainous Areas: A Case Study in Hechi, Guangxi[J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(7): 2596–2608.]
- [23] 黄颖, 李鑫. 1995—2015 年淮河生态经济区生态系统服务评估与时空变化分析[J]. 生态与农村环境学报, 2021, 37(1): 49–56. [HUANG Ying, LI Xin. Ecosystem Services Evaluation and Spatiotemporal Analysis of Huaihe River Eco-Economic Zone from 1995 to 2015[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2021, 37(1): 49–56.]
- [24] 邹文涛, 何友均, 叶兵, 等. 基于 InVEST 模型的钱江源国家公园生态系统碳储量研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2021, 41(3): 120–128. [ZOU Wen-tao, HE You-jun, YE Bing, *et al.* Study on Carbon Storage of Ecosystem in Qianjiangyuan National Park Based on InVEST Model[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2021, 41(3): 120–128.]
- [25] 李亚楠, 多玲花, 张明. 基于 CA-Markov 和 InVEST 模型的土地利用格局与生境质量时空演变及预测: 以江西省南昌市为例[J]. 水土保持研究, 2022, 29(2): 345–354. [LI Ya-nan, DUO Ling-hua, ZHANG Ming. Evolution and Prediction of Land Use Pattern and Habitat Quality Based on CA-Markov and InVEST Model: A Case Study of Nanchang City in Jiangxi Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2022, 29(2): 345–354.]
- [26] 岳文泽, 侯丽, 夏皓轩, 等. 基于生态系统服务供需平衡的宁夏固原生态修复分区与优化策略[J]. 应用生态学报, 2022, 33(1): 149–158. [YUE Wen-ze, HOU Li, XIA Hao-xuan, *et al.* Territorially Ecological Restoration Zoning and Optimization Strategy in Guyuan City of Ningxia, China: Based on the Balance of Ecosystem Service Supply and Demand[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2022, 33(1): 149–158.]
- [27] 李乃强, 徐贵阳. 基于自然间断点分级法的土地利用数据网格化分析[J]. 测绘通报, 2020(4): 106–110, 156. [LI Nai-qiang, XU Gui-yang. Grid Analysis of Land Use Based on Natural Breaks (Jenks) Classification[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2020(4): 106–110, 156.]
- [28] KAMINSKI A, BAUER D M, BELL K P, *et al.* Using Landscape Metrics to Characterize Towns along an Urban-rural Gradient[J]. Landscape Ecology, 2021, 36(10): 2937–2956.
- [29] SHEN J K, WANG Y C. Allocating and Mapping Ecosystem Service Demands with Spatial Flow from Built-up Areas to Natural Spaces[J]. The Science of the Total Environment, 2021, 798: 149330.
- [30] DOLAN R, BULLOCK J M, JONES J P G, *et al.* The Flows of Nature to People, and of People to Nature: Applying Movement Concepts to Ecosystem Services[J]. Land, 2021, 10(6): 576.
- [31] 南昌市人民政府. 南昌市公园体系发展规划(2021—2035 年) [EB/OL]. (2021–12–14). <http://www.nc.gov.cn/ncsz/zxfzgh/202202/e680e6480b7f4c8a93fe095490220215.shtml>.
- [32] 李倩, 吴雅华, 李佳芯, 等. 基于生态系统服务供需关系的福州绿地生态网络构建分区[J]. 西北林学院学报, 2022, 37(2): 238–247. [LI Qian, WU Ya-hua, LI Jia-xin, *et al.* Construction Zoning of Urban Green Space Ecological Network Based on Ecosystem Service Supply and Demand in Fuzhou[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2022, 37(2): 238–247.]
- [33] 韩增林, 刘澄浩, 闫晓露, 等. 基于生态系统服务供需匹配与耦合协调的生态管理分区: 以大连市为例[J]. 生态学报, 2021, 41(22): 9064–9075. [HAN Zeng-lin, LIU Cheng-hao, YAN Xiao-lu, *et al.* Coupling Coordination and Matches in Ecosystem Services Supply-Demand for Ecological Zoning Management: A Case Study of Dalian[J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(22): 9064–9075.]
- [34] 郭朝琼, 徐昔保, 舒强. 生态系统服务供需评估方法研究进展[J]. 生态学报, 2020, 39(6): 2086–2096. [GUO Chao-qiong, XU Xi-bao, SHU Qiang. A Review on the Assessment Methods of Supply and Demand of Ecosystem Services[J]. Chinese Journal of Ecology, 2020, 39(6): 2086–2096.]

作者简介: 方朝阳(1971—), 男, 江西南昌人, 教授, 博士, 研究方向为生态环境计算与服务。E-mail: fcy@jxnu.edu.cn

(责任编辑: 陈 昕)