

# 城市绿色空间生态系统服务供需匹配评估方法：研究进展与启示

闫水玉 唐俊

**提 要** 城市绿色空间生态系统服务供需关系的识别和量化评估是城市绿色空间规划制定的基础。通过分析相关概念、量化基础与逻辑、评估方法及运用，发现：生态系统服务国际通用分类法（CICES）因综合考虑生态系统属性和人类需求并避免重复计算而更适合供需匹配评估；城市自然生态系统——供给侧、社会经济系统——需求侧和生态系统服务供需关系是评估框架的核心部分；供需匹配综合评估框架需对不同尺度绿色空间生态服务供需特征和变化规律进行多维度评估和模拟；可有效运用于城市尺度绿色空间的现有评估方法包括价值评估法、经验统计模型法、空间直观模型法和参与式方法等。初步构建了城市绿色空间生态系统服务供需匹配综合评估框架，探索评估方法及其在规划中的应用，提出基于规划目标、现状分析、供需匹配评估的实现路径，为多时空尺度城市绿色空间规划和绩效评估提供依据和参考。

**关键词** 供给和需求；概念框架；评估方法；生态系统服务分类；实现路径

中图分类号 TU984 文献标志码 A  
DOI 10.16361/j.upf.202202009  
文章编号 1000-3363(2022)02-0062-07

Methods to Evaluate Supply and Demand Matching of Urban Green Space Ecosystem Services: Research Progress and Reflections

YAN Shuiyu, TANG Jun

**Abstract:** The identification and quantitative evaluation of the supply-demand relationship of urban green space ecosystem services are the basis of urban green space planning. By analyzing related concepts, rationales for measuring attributes, evaluation methods and application, it is found that the Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) is more suitable for evaluating supply-demand matching because it considers ecosystem attributes and human needs comprehensively and avoids repeated calculations. Urban natural ecosystems (the supply side), socio-economic systems (the demand side), and ecosystem services are core parts of the assessment framework. A comprehensive evaluation framework is build on multi-dimensional assessment and simulation of the supply-demand characteristics and variation of urban green space ecological services at different scales. Existing evaluation methods that can be effectively applied to urban-scale green space include value evaluation method, empirical statistical model, spatially explicit model and participatory method, etc. Based on the above understanding, this paper constructs a comprehensive framework for evaluating supply-demand matching of urban green space ecosystem services, explores evaluation methods and their application in urban planning, and provides a roadmap of plan implantation based on planning objectives, analysis of existing situations, and evaluation of supply-demand matching. The paper serves as a reference for urban green space planning and performance evaluation across time and space.

**Keywords:** supply and demand; conceptual framework; evaluation method; classification of ecosystem services; roadmap

城市绿色空间（urban green spaces, UGS）在稳定城市生态与环境、建构城市形态与秩序、供给高密度城区游憩服务等方面具有不可替代的价值<sup>[1-2]</sup>，这些价值可概括为城市生态系统服务（ecosystem services, ES），包括供应服务、调节和支持服务、文化服务<sup>[3]</sup>。城市绿色空间ES供给能力随着城市建设空间持续扩大和生态空间的被忽视而持续降低，城市居民生活品质提升的ES需求却持续增加<sup>[4-5]</sup>，ES供给和需求（ES supply and demand, ESSD）在数量、空间上出现失衡和错配，使得城市空间效率降低，严重影响城市高质量发展。准确理解城市绿色空间生态系统服务供需匹配内涵，梳理其评估框架、方法、运用及实现路径对目前我国城市绿色空间规划具有基础性意义。

学者们在各种空间尺度上展开的ES分类方法<sup>[6]</sup>、ES权衡<sup>[7]</sup>、ES价值评估<sup>[8]</sup>、ESSD匹

## 作者简介

闫水玉，重庆大学建筑城规学院教授，博士生导师，yanshuiyu@cqu.edu.cn  
唐俊，重庆大学建筑城规学院博士研究生

配<sup>[9]</sup>等基础研究具有启发性意义，在此基础上提出的城市绿色空间ES集成评估框架<sup>[10]</sup>对城市绿色空间ESSD匹配量化研究起到推动作用。整合供需理论的绿色空间ES评估也逐步出现<sup>[11]</sup>，其中城市尺度的绿色空间ES供需匹配研究刚刚起步，对其概念内涵、量化方法与运用进行综合分析，可为城市绿色空间规划和ES管理提供重要信息。

本文基于城市绿色空间ESSD匹配概念内涵，在梳理生态系统服务分类、供需匹配评估框架、指标体系的基础上，初步构建了城市绿色空间ESSD匹配综合评估框架，总结ESSD匹配评估方法及其在规划中的运用，同时提出基于生态系统服务供需匹配的城市绿色空间实现路径。

## 1 城市绿色空间ES供给和需求匹配概念界定

### 1.1 城市绿色空间概念

城市绿色空间的定义尚未达成一致，主要争论点在于人工环境（人工绿地、户外活动场地等）是否应该纳入其中。笔者从定义、空间类型、植被覆盖和概念区别等4方面对城市绿色空间及相关概念（“城市绿地”“城市开敞空间”“城市生态空间”）进行梳理（表1）。国内将“城市绿地”分为公园绿地、防护绿地、广场用地、附属绿地和区域绿地等5类，以方便城市用地统计和管理<sup>[12-13]</sup>，但“用地”的概念难以体现城市生态系统的服务功能；“城市开敞空间”涵盖范围大于城市绿色空间，强调用地空间的开放性和公共性而非自然属性；“城市生态空间”具有生态功能且有别于人工硬化地面，包括绿色植被覆盖的所有生态单元<sup>[14]</sup>，其含义对城市研究来说过于笼统。所以本文采用“城市绿色空间”概念，以更好地梳理城市范围内ESSD匹配的量化途径和方法。

本文侧重于研究绿色空间及其所提供生态系统服务对城市系统的支撑作用，所以将区域内有益于维护生态安全且有显著生态功能的自然绿色区域和人工绿色环境都归入城市绿色空间范畴，将其定义为：城市区域内兼具生态保育、休闲游憩、环境改善、土地保护和气候调

表1 城市绿色空间相关概念的比较

Tab.1 Comparison of urban green space and related concepts

相关概念	定义	空间类型	简析	概念区别
城市绿色空间	城市区域内兼具生态保育、土地保护、休闲游憩、环境改善和气候调节等功能，不同于城市广场、街道等硬化地面的自然和人工环境空间的统称，是非建设用地的核心组成部分	城市绿地、城市周围的区域绿地、森林等	有绿色植被覆盖；关注生态系统的综合服务功能，突出城市生态系统调节和支持服务、文化服务	
城市绿地	主要覆盖植被，用以改善城市生态、保护环境和美化城市，为居民提供游憩场地的一种城市用地	公园绿地、防护绿地、广场用地和城区周围的区域绿地（风景游憩绿地、生态保育绿地、生产绿地）等	有绿色植被覆盖；强调土地利用属性	一般小于城市绿色空间范畴，广义的“城市绿地”等同于“城市绿色空间”
城市开敞空间	没有或有少量建筑物，其余部分具有娱乐、游憩等功能的露天或开敞用地 <sup>[15]</sup>	广场、露天/开敞用地；城市公园、庭院；荒地、林地等	有植被覆盖或无植被覆盖；强调开放性和公共性	一般大于城市绿色空间范畴，狭义的“开敞空间”等同于“城市绿色空间”
城市生态空间	具有生态系统服务功能的生态单元 <sup>[16]</sup>	城市绿地、水体和无植被地以及城区周边的农林用地	有绿色植被覆盖；关注生态系统的综合服务功能，更强调城市生态系统供应服务、调节和支持服务	大于城市绿色空间范畴，涵盖“城市绿色空间”

节等功能，不同于城市广场、街道等硬化地面的自然和人工环境空间的统称，是非建设用地的核心组成部分。

### 1.2 城市绿色空间生态系统服务的理解

目前最常使用的3种ES定义是：①自然生态系统及其组成部分为维持人类生活而提供的一系列条件和过程<sup>[17]</sup>；②人类直接或间接地从生态系统及其功能中获得的利益<sup>[8]</sup>；③主动或被动产生人类福祉的生态系统组织、结构、过程或功能<sup>[18]</sup>。第一种定义强调生态系统的生命支撑功能及其提供的自然环境条件和生态过程；第二种定义将生态系统服务视为能被人类利用的产品、资源和服务；第三种定义综合前两种观点，将城市自然生态系统与社会经济系统结合起来，认为ES是与人类福祉相关的生态系统各方面，更适合城市绿色空间ESSD匹配量化研究。所以本文据此将ES定义为绿色空间及其组成部分在生态过程中产生的支撑人类生存和发展的效用和服务，包括供应服务、调节和支持服务、文化服务。

### 1.3 城市绿色空间ES供需匹配的界定

“ES供给”的定义集中反映在“潜在服务能力”和“可使用的服务量”两个层面（表2）：前者是理想状态下生态系统的最大产出和阈值，类似于“ES潜在供给<sup>[19]</sup>”“生态能力<sup>[11]</sup>”“服务能力<sup>[9]</sup>”；后者指当前条件下可被接收或使用的服

务量，即ES实际供给。受技术、政策和可达性等因素影响，只有部分ES潜在供给可转化为实际供给，经消费和使用时产生人类福祉，所以仅考虑生物物理因素和土地类型的ES量化是不准确的。为此，本文认为ES供给是：基于城市绿色空间结构和生态过程的完整性，通过一定技术或管理手段可被获取和使用的生态系统服务总量。

“ES需求”的理解目前大致分为3种：①Burkhard等<sup>[20]</sup>建议不考虑实际提供ES的空间位置，认为ES需求是一时段内特定区域中消耗或使用的ES；②Schröter等<sup>[21]</sup>将ES需求定义为“个体对ES特定属性偏好的表达，如生物物理特征、可用位置和时间、相关使用机会成本”；③Villamagna等<sup>[9]</sup>综合前两种定义，认为ES需求是“人类社会消耗和希望获得的服务数量”。由于城市绿色空间ESSD匹配量化不仅关注当前技术和生物物理条件下的ESSD平衡状况，也重视未来的ESSD匹配趋势，所以本文采用第三种概念，将ES需求定义为：城市居民目前实际消耗和未来期望获取的ES数量。

“ES供需匹配”可从ES供需关系的角度进行阐释，包括不同类型ES间的“权衡<sup>[7]</sup>”“协同<sup>[22]</sup>”关系，以及ES供给和需求的“平衡<sup>[23]</sup>”和“匹配<sup>[24]</sup>”状况等。完整意义的“ES供需匹配”，除上述角度外，还应包含ES供需匹配的理论指导、技术手段和综合目标等因素。基于以上考虑，笔者将城市绿色空间ES供需

表2 生态系统服务供给和需求概念

Tab.2 Definition of supply and demand of ecosystem services

ES供给概念	供给定义范畴	ES需求概念	需求定义范畴	来源
基于生物物理特性、社会条件和生态功能提供服务的潜力	潜在服务能力	人类社会消耗和期望获得的服务数量	消耗/使用 偏好/期望	参考文献 [9]
特定区域和特定时期内基于生物物理特性、生态功能和社会特性的生态系统的组成部分	潜在服务能力	消耗或期望的服务量	消耗/使用 偏好/期望	参考文献 [10]
一定时间内提供生态系统产品和服务的能力	潜在服务能力	一定时间内消耗或使用的所有生态系统商品和服务总和	消耗/使用	参考文献 [20]
当前管理方式下以可持续方式提供人类期望服务的长期潜力	潜在服务能力	个体对服务特定属性的偏好表达	偏好/期望	参考文献 [21]

表3 生态系统服务分类方法

Tab.3 Classification of ecosystem services

ES分类方法	服务类别	分类依据	分类角度	来源
17项	大气调节、气候调节、干扰调节、水调节、水供给、侵蚀控制和泥沙淤积、土壤形成、营养循环、废物处理、授粉、生物防治、庇护所、食物生产、原材料、基因资源、娱乐、文化	生态系统结构和过程	生态学	参考文献 [8]
4类23项	调节功能、栖息地功能、生产功能、信息功能	生态系统过程和组成部分	生态学	参考文献 [25]
5类17项	全球非临近、局部临近（取决于临近性）、与方向流有关；从生产点到使用点的流量、原位（使用点）、与使用者移动有关；人流动具有独特的自然特征	生态系统服务空间特征	生态学	参考文献 [6]
4类20项	供应服务、调节服务、支持服务、文化服务	(非)生物过程的产物和服务	生态学	参考文献 [3]
3类19组	供应服务、调节和支持服务、文化服务	人类需求和生态系统最终服务	社会学和生态学	参考文献 [26]

匹配定义为：以ES评估为基础，以绿色空间规划与设计为技术手段，以可持续利用为目标，对城市绿色空间进行的评估、规划、建设、管理活动和过程；它涉及时间、空间和利益相关者等维度，表现在数量平衡、空间匹配和功能契合等方面（图1）。

## 2 城市绿色空间ES供需匹配量化基础、逻辑与指标

系统科学的分类方法和评估体系有助于城市绿色空间ESSD匹配量化方法的完善，ES分类、概念框架和指标量化是城市绿色空间ESSD匹配评估的基础、逻辑和过程，对其进行深度探讨有助于理解城市绿色空间生态系统服务动态机制，促进绿色空间科学规划和管理。

### 2.1 量化基础：ES分类

目前已有多种分类方法（表3），早期ES分类多从生态学角度出发，基于生态系统结构、过程和组成部分等属性对其产物、服务进行区分，如Costanza等的4类17项分类法<sup>[6]</sup>、De Groot等的4类23项分类法<sup>[25]</sup>和千年评估系统（MA）的4类20项分类法<sup>[3]</sup>等。这些方法较为全面

地涵盖了生态系统（非）生物过程的产出和服务，尤其是MA的四分法至今仍是ES评估和研究的参照标准和准则。由于生态系统组成部分和生态过程与ES并非单一对应关系，所以基于生态系统本身属性进行的分类方法和ES评估不可避免地存在重叠和交叉。为解决这一矛盾，部分学者在MA四分法的基础上提出ES国际通用分类体系，即CICES分类法<sup>[26]</sup>，通过区分生态系统过程产物和最终服务形成供应服务、调节和支持服务、文化服务三种分类。CICES分类方法在综合考虑城市生态系统属性和人类需求的同时避免重复计算，适用于城市绿色空间ESSD匹配评估，故本文后续研究采用CICES分类方法。

### 2.2 评估逻辑：概念框架

概念框架是指导评估思路、结构设计的前提和理论基础，绿色空间ES评估框架是城市生态系统与社会经济系统间的桥梁，为规划管理决策提供综合信息。已有概念框架包括：压力—状态—响应（PSR）模型（图2（a））、ES与人类福祉关系框架（图2（b））、ES级联模型（图2（c））和ES供需匹配评估综合框架（图2（d））。

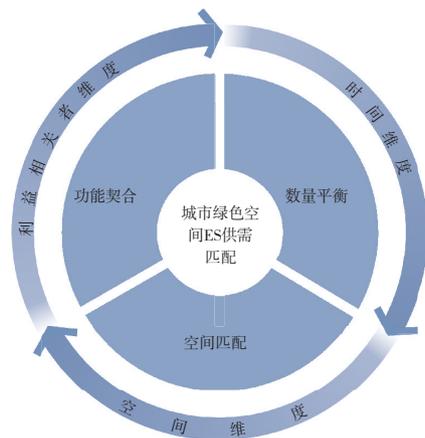


图1 城市绿色空间生态系统服务供给和需求匹配内涵

Fig.1 The connotation of supply-demand matching of urban green space ecosystem services

PSR模型是表征城市生态承载力的评估体系，其压力、状态、响应三类指标能较好地反映人类活动与自然环境间相互作用关系，有助于城市资源利用模式和可持续发展状况的研判，为城市ES供需评估研究提供了新线索。

ES与人类福祉关系框架包括千年生态系统评估（MA）框架和生物多样性与生态系统服务政府间平台（IPBES）框架。MA框架旨在评估ES变化对人类福祉的影响作用，并将结果作为驱动因素纳入动态评估系统；而IPBES框架更重视制度、治理等间接驱动力对解决环境问题的决定性作用。

ES级联模型是描述ES范式及相关问题的评估框架<sup>[27]</sup>，其组成部分并不固定，在向城市领域延伸的过程中，重点集中在城市生态系统（ES供给）和社会经济系统（ES需求）关系、ES产生和流动等方面<sup>[11]</sup>。虽然实际情况中较少存在简单线性关系，但该框架明确了ES的动态循环过程，为ESSD评估奠定基础。

ES供需匹配评估框架是在ES需求持续增长而绿色空间ES供应不断下降的背景下提出的，它将城市生态系统和社会经济系统分别作为ES供给侧、需求侧阐释二者相互作用方式和反馈机制<sup>[10]</sup>，促进我们对ES供需关系的理解，为绿色空间规划和生态系统管理提供重要信息，是目前较为系统综合的评估体系。

以上框架的核心内容和理论逻辑存在以下共同点：①绿色空间结构、过程和功能（即生态系统完整性）支撑ES产生、

流动和价值实现整个过程；②ES在联结城市生态系统和社会经济系统中起关键作用；③ES需求是框架不可或缺的组成部分，也是识别不同维度ESSD错配的关键。本文认为ES供需匹配框架将ES作为城市自然生态系统和社会经济系统之间的桥梁，兼顾城市绿色空间ES供给侧和需求侧，更适合多目标、多尺度的城市绿色空间ESSD匹配综合评估与量化。

### 2.3 评估过程：指标量化

城市绿色空间ES供需指标反映城市生态系统和社会经济系统的状态与趋势，明确评估指标量化方式是城市绿色空间科学规划和管理的的前提。ESSD匹配评估指标主要通过城市生物物理数据和社会数据进行量化（表4）。供应服务的供给量常用该服务产量能力表示（如城市地下水储量）；需求量通过消费量体现（如城市水消耗量），数据获取相对简单，但量化结果因没有考虑ES流动而与实际需求存在一定偏差。支持和调节服务的供给量可用绿色空间的防护和支持能力表示（如城市土壤蓄水能力）；需求指标相对较难量化，多通过相关指标（如城市潜在洪水风险）进行评估。文化服务指标供给能力常用绿色空间数量、规模或可达性等表示；需求指标多将问卷调查获取的数据转化为使用者意愿、偏好和居民感知<sup>[7]</sup>，结果受观察者主观影响较大。城市绿色空间ESSD的数量平衡状况有两种判别方式：直接比较（即ES供给和需求分别进行测算，经叠加或统一化处理后得到ES供需匹配/错配情况<sup>[20]</sup>）和间接比较（即根据相关环境质量标准和额外需求量反推ESSD数量平衡现状<sup>[11]</sup>）；空间匹配情况通常借助GIS软件对ES供给和需求空间数据进行叠加分析，或者经Z-Score标准化后在供需象限中进行分析；功能契合程度可经过人工识别和比对进行判断。多源数据（生物物理数据和社会经济数据）下的多尺度城市绿色空间ESSD匹配量化方法更为科学，也更符合城市系统的复杂性和动态性特征。

## 3 城市绿色空间生态系统服务供需匹配评估方法与运用

城市绿色空间ES量化是认识和实现

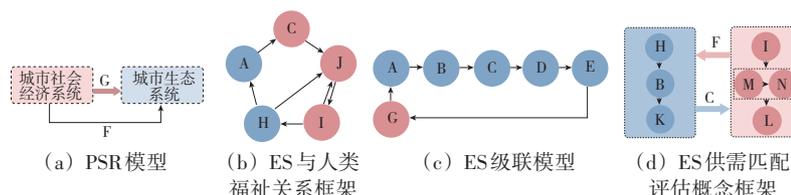


图2 城市绿色空间生态系统服务供给和需求匹配评估逻辑  
A: UGS结构和生态系统过程 B: 生态功能 C: 生态系统服务 D: 生态效益 E: ES价值 F: 政策调控 (国土空间规划、环境管治、资源配置等) G: 生态压力 (资源消耗、环境污染等) H: 直接驱动因素 (城市用地变化等物理因素、气候变化等自然因素、物种引进等生物因素、资源消耗等) I: 间接驱动因素 (人口增长、经济发展、科技文化、社会政治等) J: 人类福祉 K: ES供给 L: ES需求 M: 社会期望/个人偏好

图2 The valuation logic of supply-demand matching of urban green space ecosystem services

表4 城市绿色空间生态系统服务供给和需求匹配指标量化

Tab.4 The measurement of supply-demand matching of urban green space ecosystem services

ES类型	供给指标	数据获取	需求指标	数据获取	供需匹配指标
供应服务	产品产量能力: 城市地下水储量、粮食产量等	政府或其他部门统计的社会经济数据和勘测获取的生物物理数据	产品消耗量: 城市水或食物消耗量等	政府或其他部门统计的社会经济数据	数量平衡: 直接比较 (供求比、供需系数) 和间接比较 (根据相关政策标准计算ES额外需求量, 反推ES供需匹配)
支持和调节服务	防护支持能力: 城市土壤蓄水能力、城市动植物数量和种类等	实地勘测和模型运算获得的生物物理数据	相关需求指标: 城市潜在洪水风险等	实地勘测和模型运算获得的生物物理数据	空间匹配: 空间叠加分析和Z-Score标准化功能契合: 人工识别和比对
文化服务	绿色空间供给能力: 数量、规模或可达性等	基于遥感影像提取的空间数据和绿色空间属性数据	实际需求: 城市居民意愿和偏好	问卷调查和统计数据转化成的社会经济数据	

其价值的前提，系统综合的评估方法有助于城市绿色空间规划和管理。目前生态系统服务供给和需求匹配的量化方法有价值评估法、经验统计模型法、空间直观模型法和参与式方法等（表5）。

### 3.1 城市绿色空间ESSD匹配评估方法

价值评估法是ES评估最常用的方法，简便易操作的特点使其适用于多尺度评估，但无法进行ESSD匹配的空间量化，难以反映新土地覆被条件下的ES价值变化<sup>[28]</sup>。经验统计模型法既可用于单个服务的评估，也可用于多个服务的综合评估，模型数据易于获取，但没有空间匹配量化功能，统计口径和行政区划变更也会影响结果稳定性和可靠性。空间直观模型包括LUCC矩阵模型和集成式生态模型：前者可在数据缺乏或复杂情况下快速判别ESSD关系，能够对多种ES进行数量平衡和空间匹配情况分析，已用于多种服务的ESSD评估<sup>[29]</sup>，但对专家经验依赖性较强，忽略ES的流动和空间异质性<sup>[9]</sup>；后者能很好揭示生态过程及其运行机理，包括InVEST、ARIES、SoLIVES等模型。具体如表5所示。参与式方法能如实地反映受益人的ES需求，已被用于多尺度绿色空间的ES供需评估，在

数据缺乏时是一种高效便利的方法，但耗费人力和其他资源较多，也可能因受访者的认知水平差异而产生描述性偏差<sup>[10]</sup>。结合各种评估方法特点和城市绿色空间ES供需匹配内涵，空间直观模型法能够很好地量化ESSD的数量、空间和功能关系，更适合城市绿色空间ESSD匹配量化方法；由于绿色空间类型和尺度的多样性，可结合多种评估方法实现不同研究尺度和目标下的城市绿色空间ESSD匹配空间特征分析，为绿色空间规划和土地利用政策制定奠定基础。

### 3.2 城市绿色空间ESSD匹配评估在规划中的运用

城市绿色空间ESSD匹配评估在规划中的应用集中在城市/区域生态规划、绿色空间规划、街区公园规划等方面（表6）。研究尺度涉及区域、城市和地方尺度，街道和斑块等小尺度的研究相对缺乏，这与数据获取和应用性有关。评估方法上，区域和城市尺度量化研究需要综合多种评估方法实施绿色空间ESSD匹配识别、评估和分析，地方尺度使用单一评估方法即可满足量化需求，这与研究数据要求和规划问题解决途径密切相关。城市绿色空间ESSD匹配评估在规划

表5 城市绿色空间生态系统服务供需匹配评估方法

Tab.5 The evaluation methods of supply-demand matching of urban green space ecosystem services

评估方法	模型/方法	主要人物/机构	方法特征	适用尺度	供需匹配评估方法	优缺点
价值评估法	当量因子法 功能价值法	Costanza等 <sup>[8]</sup>	基于当量因子表和市场价格转移法的ES供给和需求价值量化	城市、区域、国家、全球等	数量平衡：供求比、供需系数 空间匹配：无 功能契合：多种ES	优点：简便易操作 缺点：未考虑空间异质性，只能评估已有土地覆被的价值
经验统计模型法	经验公式 参数模型		基于社会统计数据对ES供需数量或消耗情况进行估算	城市、区域等尺度	数量平衡：供求比、供需系数 空间匹配：无 功能契合：多种ES	优点：数据易于获取 缺点：缺乏对ES供给来源和空间异质性的考虑，数据统计口径和行政区划变更会影响结果稳定性和可靠性。
空间直观模型法	LUCC矩阵模型	Burkhard等 <sup>[20]</sup>	综合ES供给、需求、消费和LUCC的二维空间模型	城市、区域等尺度	数量平衡：专家打分后加权计算 空间匹配：空间叠加 功能契合：多种ES	优点：可快速判别数据缺乏或复杂情况下的ESSD空间关系 缺点：对专家知识依赖性较强，结果具有不确定性；忽略空间异质性
	InVEST模型	美国斯坦福大学	多模块、多层次、多情景的ES供给和需求评估、模拟的综合模型	景观、城市、流域、全球等尺度	数量平衡：生态生产函数和价值计算 空间匹配：Z-Score标准化供需象限 功能契合：多种ES	优点：适用性广、可评估ES需求 缺点：评估精度需更多数据验证
	集成式生态模型	SolVES模型 ARIES模型	美国科罗拉多州立大学 美国佛蒙特大学	基于空间数据和社会调查数据的ES社会价值评估和量化模型 根据ES空间流动特点进行ES需求和受益量化的集合式评估平台	中小尺度 城市、区域等尺度	数量平衡：模型运算 空间匹配：无 功能契合：文化功能 数量平衡：模型运算 空间匹配：空间叠加 功能契合：多种ES
参与式方法	问卷调查、利益相关者访谈、组建专家团队等		基于不同的认知、偏好和支付意愿，如实反映受益人群ES供给、需求状况	景区、城市等中小尺度	数量平衡：供求比、供需系数等 空间匹配：空间可视化 功能契合：多种ES	优点：如实反映ES需求 缺点：容易产生描述性偏差，人力和其他耗费较大

表6 城市绿色空间生态系统服务供给和需求匹配运用

Tab.6 The application of supply-demand matching of urban green space ecosystem services

研究尺度	评估模型/方法	供需匹配判别	研究内容	规划类型	来源
区域	LUCC矩阵模型	空间叠加分析、供求比	根据ES潜在供给、ES实际供给和ES需求的可视化结果确定区域整体的ES供需匹配状态	区域生态规划	参考文献[19]
	LUCC矩阵模型	空间叠加分析	在绘制ES供求关系图的基础上权衡不同类型ES	区域生态规划	参考文献[20]
	价值评估法、经验统计模型法	供求比	通过城乡梯度供需匹配评估实现区域景观格局优化	绿色空间规划	参考文献[29]
城市	经验统计模型法、参与式方法	空间叠加分析	基于ES供需分析识别生态敏感区和主要保护区，为区域总体规划及景观规划提供依据	绿色空间规划	参考文献[11]
	价值评估法、经验统计模型法	空间叠加分析	根据ES能力与ES流之间的差值分析绿色空间生态系统的可持续性	城市生态规划	参考文献[21]
	经验统计模型法、参与式方法	差异指数	在供需量化、空间匹配和空间聚类分析的基础上确定优先管理区域	绿色空间规划	参考文献[30]
地方	价值评估法		城市绿色空间生态系统服务价值时空变化分析	绿色空间规划	参考文献[31]
	参与式方法	主成分分析、多重对应分析	社会价值分析、ESSD协同和权衡关系分析	生态规划	参考文献[32]
	价值评估法		街头公园改造后的个人和社会收益	街区公园规划	参考文献[33]

领域已得到初步应用，尤其是在ES供需匹配的现状分析、时空变化和动态模拟等方面，基于量化评估提出的规划建议、发展指引为城市绿色空间规划和管理提供重要依据。总之，城市绿色空间ESSD

匹配与ES的持续性供给和城市居民福祉增强密切相关，如何基于量化评估实现城市绿色空间ES供给和需求在多时空、多尺度下的数量平衡、空间匹配和功能契合是城市绿色空间规划的必要内容。

对城市绿色空间ESSD匹配综合评估框架的构建和具体实施路径的探索是城市绿色空间生态系统服务供需匹配评估和量化分析的基础与前提。

#### 4 城市绿色空间ES供需匹配评估框架与实现路径

时空维度、评估尺度、供需水平测度和供需比较是城市绿色空间ESSD匹配评估的关键。空间维度（生态空间、社会经济空间）是城市生态系统服务流动和价值实现的基础，也是绿色空间规划和相关政策实施的落脚点；时间维度为绿色空间ESSD的动态变化、未来预测和模拟验证等提供支持。绿色空间ESSD匹配评估除受景观生态学中的空间尺度（景观、地方、斑块）影响外，也受城市行政区划（区域、城市、社区）的影响，传统的规划层级难以满足绿色空间ESSD匹配评估的多尺度要求，所以采用区域、城市、地方和斑块等4个评估尺度。供需水平测度是指通过绿色空间ES供给水平（冗余度指数）和需求水平（需求效率指数）评价分别得到ES供给和需求现状水平，首先分析ES供给的空间特征（绿色空间类型、规模、结构）和需求主体的空间分布规律（服务需求类型、规模和产业结构），然后借助集成式生态模型分别模拟绿色空间ES供给效能（绿色空间ES的最大供给能力）和需求效率（维持需求主体基本功能前提下的ES需求程度），并识别二者的影响要素。供需比较以绿色空间ES供需水平测度为基础，通过直接比较（供求比、空间叠加等）或间接比较（根据ES额外需求量推算）判断ES供给和需求在空间、数量和功能上的匹配现状；根据量化模型、评估技术和协同效率（平衡效率指数等）比较分析ES供给效能和需求效率，预测绿色空间未来发展趋势。

综上所述，城市绿色空间生态系统服务供需匹配综合评估框架是对不同尺度（区域、城市、地方、斑块）绿色空间ES供需空间特征（类型、规模和结构等方面）、变化规律（水平、效能和影响要素）进行多维度（空间、技术、利益相关者和时间维度）评估和模拟（量化模型、评估技术和协同效率）的耦合模

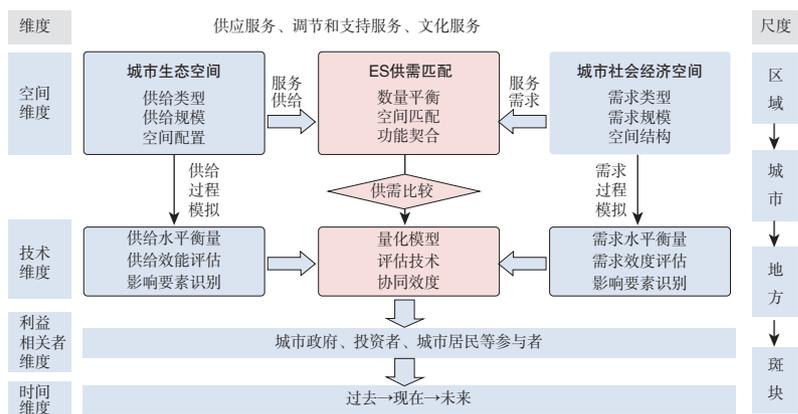


图3 城市绿色空间生态系统服务供给和需求匹配综合评估框架

Fig.3 The integrated assessment framework of supply-demand matching of urban green space ecosystem services

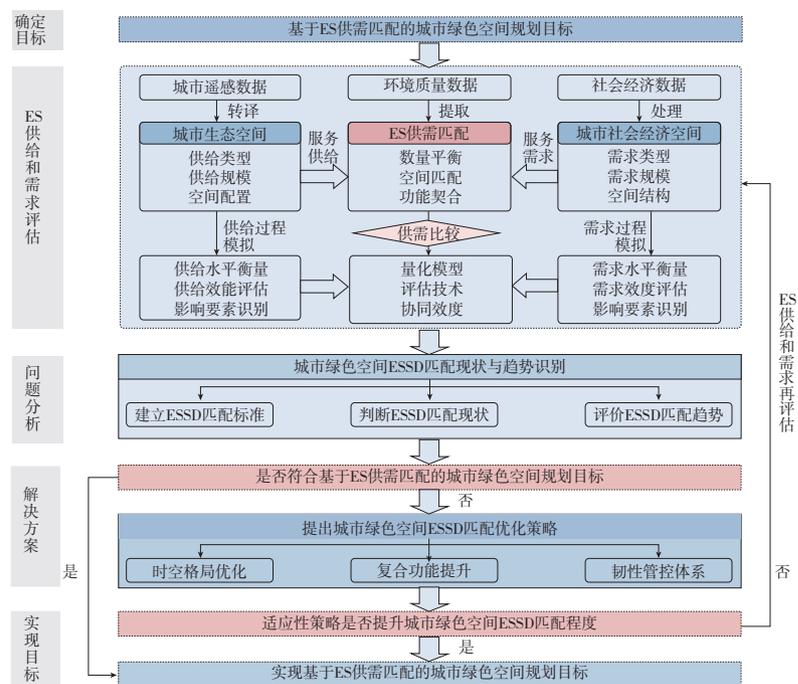


图4 城市绿色空间生态系统服务供给和需求匹配实现路径

Fig.4 Roadmap for realizing supply-demand matching of urban green space ecosystem services

型(图3),是城市绿色空间ES供需匹配量化评估和动态调控的基础。

笔者基于城市绿色空间ESSD匹配内涵、评估框架、方法及应用,提出城市绿色空间生态系统服务供需匹配实现路径(图4)。首先,确定基于ES供需匹配的城市绿色空间规划目标;其次,结合相关数据(城市遥感数据、环境质量数据、社会经济数据等)对ESSD匹配的供需水平、效能、影响要素进行识别、模拟和分析;再次,根据评价结果识别城市绿色空间ESSD空间分异模式,并对ESSD匹配现状和未来趋势进行判别;然

后,依据现状确定对策;最后,对实施策略后的城市绿色空间进行情景模拟和ES供需效能再评估,同时调整优化策略,直到实现规划目标。

### 5 结论与展望

城市尺度的绿色空间生态系统服务供需匹配量化是绿色空间科学规划的重要依据,也是城市生态环境问题缓解和城市高质量发展的前提与基础。城市绿色空间生态系统服务供需匹配是以ES评估为基础,以绿色空间规划与设计为技

术手段,以可持续利用为目标,对城市绿色空间进行的评估、规划、建设、管理的活动和过程。本文以量化基础与逻辑、评估方法及运用为重点,致力于城市绿色空间ESSD匹配实现路径的建立,其中:①CICES分类方法综合考虑城市生态系统属性和人类需求并避免重复计算,更适合城市绿色空间ESSD供需匹配评估;②量化评估的基本逻辑是生态系统服务作为桥梁联结城市生态系统(ES供给)和社会经济系统(ES需求)(图2);③城市绿色空间ESSD匹配综合评估框架是对不同尺度绿色空间ES供需特征和变化规律进行多维度评估和模拟的耦合模型(图3);④量化方法包括价值评估法、经验统计模型法、空间直观模型法和参与式方法等(表5);⑤实现路径包括目标确定—供需评估—问题分析—解决方案—实现目标等(图4)。虽然城市绿色空间ES供需匹配实现路径侧重于理论探索,不能直接转化为可实施的规划方案,但可为城市绿色空间规划制定、绩效评估和管理提供参考和依据。

以上研究对城市尺度的绿色空间ES量化研究具有明显价值,而对街道、斑块等小尺度绿色空间ES供需匹配评估的适应性还需进一步确定。不同尺度绿色空间生态系统服务量化评估的模型数据、方法技术及环境效应的尺度差异,本研究尚未深入探讨;另外,提高评估精度、开发集成式模型和定向模型等也是未来城市绿色空间生态系统服务供需匹配量化工作的重点,有待进行深入的研究。

注:文中未注明资料来源的图表均为作者绘制。

### 参考文献 (References)

[1] 叶林,邢忠,颜文涛,等.趋近正义的城市绿色空间规划途径探讨[J].城市规划学刊,2018(3): 57-64. (YE Lin, XING Zhong, YAN Wentao, et al. Urban greenspace planning to achieve social justice[J]. Urban Planning Forum, 2018(3): 57-64.)

[2] 吴承照,曾琳.以街旁绿地为载体再生传统民俗文化的途径:上海苏州河畔九子公园[J].城市规划学刊,2006(5): 99-102. (WU Chengzhao, ZENG Lin. Research approach for the regeneration of traditional folk culture in street green space: analysis of Jiuzi Park in Suzhou Riverside of Shang-

- hai[J]. *Urban Planning Forum*, 2006(5): 99-102.)
- [3] Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and human well-being: volume 2 scenarios*[M]. Washington DC: Island Press, 2005.
- [4] 方可, 哈思杰, 唐梅, 等. 城市绿地建设实施评估方法创新研究: 以武汉市为例[J]. *城市规划学刊*, 2015(6): 84-89. (FANG Ke, HA Sijie, TANG Mei, et al. Innovative research on evaluation method for urban greenery development: a case study of Wuhan[J]. *Urban Planning Forum*, 2015(6): 84-89.)
- [5] 赵哲, 俞为妍, 周韵, 等. 全域绿色空间规划的技术探索: 以南京江北新区为例[J]. *城市规划学刊*, 2017(S2): 229-234. (ZHAO Zhe, YU Weiyan, ZHOU Yun, et al. A research on planning method of the whole-domain green space: a case study of Nanjing Jiangbei new area[J]. *Urban Planning Forum*, 2017(S2): 229-234.)
- [6] COSTANZA R. Ecosystem services: multiple classification systems are needed[J]. *Biological Conservation*, 2008, 141(2): 350-352.
- [7] MARTÍN-LÓPEZ B, GÓMEZ-BAGGETHUN E, GARCÍA-LLORENTE M, et al. Trade-offs across value-domains in ecosystem services assessment[J]. *Ecological Indicators*, 2014, 37: 220-228.
- [8] COSTANZA R, D'ARGE R, de GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature*, 1997, 387(15): 253-260.
- [9] VILLAMAGNA A M, ANGERMEIER P L, BENNETT E M. Capacity, pressure, demand, and flow: a conceptual framework for analyzing ecosystem service provision and delivery[J]. *Ecological Complexity*, 2013, 15: 114-121.
- [10] WEI H, FAN W, WANG X, et al. Integrating supply and social demand in ecosystem services assessment: a review[J]. *Ecosystem Services*, 2017, 25: 15-27.
- [11] BARÓ F, PALOMO I, ZULIAN G, et al. Mapping ecosystem service capacity, flow and demand for landscape and urban planning: a case study in the Barcelona metropolitan region[J]. *Land Use Policy*, 2016, 57: 405-417.
- [12] 金云峰, 周聪惠. 城市绿地系统规划要素组织架构研究[J]. *城市规划学刊*, 2013(3): 86-92. (JIN Yunfeng, ZHOU Conghui. A research on the framework of urban green space system planning[J]. *Urban Planning Forum*, 2013(3): 86-92.)
- [13] 刘颂. 转型期城市绿地系统规划面临的问题及对策[J]. *城市规划学刊*, 2008(6): 79-82. (LIU Song. Solution to the problems of urban green space system planning in the transitional period[J]. *Urban Planning Forum*, 2008(6): 79-82.)
- [14] 王国恩, 汪文婷, 周恒. 城市基本生态控制区规划控制方法: 以广州市为例[J]. *城市规划学刊*, 2014(2): 73-79. (WANG Guoen, WANG Wenting, ZHOU Heng. The planning of urban fundamental ecological controlling area: the case of Guangzhou[J]. *Urban Planning Forum*, 2014(2): 73-79.)
- [15] 张虹鸥, 岑倩华. 国外城市开放空间的研究进展[J]. *城市规划学刊*, 2007(5): 78-84. (ZHANG Hongou, CEN Qainhua. A study summary of urban open space abroad[J]. *Urban Planning Forum*, 2007(5): 78-84.)
- [16] 郑辉. 关于生态控制区土地利用的规划探索: 以厦门市翔安区生态控制区控制规划为例[J]. *城市规划学刊*, 2018(S1): 68-74. (ZHENG Hui. The utilization of ecologically controlled zones: a case study of Xiang'an district of Xiamen city[J]. *Urban Planning Forum*, 2018(S1): 68-74.)
- [17] DAILY G C. *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*[M]. Washington D C: Island Press, 1997.
- [18] FISHER B, TURNER R K, MORLING P. Defining and classifying ecosystem services for decision making[J]. *Ecological Economics*, 2009, 68(3): 643-653.
- [19] 白杨, 王敏, 李晖, 等. 生态系统服务供给与需求的理论与管理方法[J]. *生态学报*, 2017, 37(17): 5846-5852. (BAI Yang, WANG Min, LI Hui, et al. Ecosystem service supply and demand: theory and management application[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(17): 5846-5852.)
- [20] BURKHARD B, KROLL F, NEDKOV S, et al. Mapping ecosystem service supply, demand and budgets[J]. *Ecological Indicators*, 2012, 21: 17-29.
- [21] SCHRÖTER M, BARTON D N, REMME R P, et al. Accounting for capacity and flow of ecosystem services: a conceptual model and a case study for Telemark, Norway[J]. *Ecological Indicators*, 2014, 36: 539-551.
- [22] MAES J, PARACCHINI M L, ZULIAN G, et al. Synergies and trade-offs between ecosystem service supply, biodiversity, and habitat conservation status in Europe[J]. *Biological Conservation*, 2012, 155: 1-12.
- [23] WU X, LIU S, ZHAO S, et al. Quantification and driving force analysis of ecosystem services supply, demand and balance in China[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 652: 1375-1386.
- [24] BRUNNER S H, HUBER R, GRÊT-REGAMEY A. A backcasting approach for matching regional ecosystem services supply and demand[J]. *Environmental Modelling & Software*, 2016, 75: 439-458.
- [25] DE GROOT R S, WILSON M A, BOUMANS R M J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services[J]. *Ecological Economics*, 2002, 41(3): 393-408.
- [26] HAINES-YOUNG R, POTSCHEIN M. *Common international classification of ecosystem services(CICES): consultation on version 4*[R]. UK: European Environment Agency, 2012.
- [27] HAINES-YOUNG R, POTSCHEIN M. *The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being*[M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2010.
- [28] KAREIVA P, TALLIS H, RICKETTS T H, et al. *Natural capital: theory and practice of mapping ecosystem services*[M]. Oxford: Oxford University Press, 2011.
- [29] KROLL F, MÜLLER F, HAASE D, et al. Rural - urban gradient analysis of ecosystem services supply and demand dynamics[J]. *Land Use Policy*, 2012, 29(3): 521-535.
- [30] LIU H, REMME R P, HAMEL P, et al. Supply and demand assessment of urban recreation service and its implication for greenspace planning: a case study on Guangzhou[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2020, 203: 103898.
- [31] YANG J, GUAN Y, XIA J C, et al. Spatio-temporal variation characteristics of green space ecosystem service value at urban fringes: a case study on Ganjingzi district in Dalian, China[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 639: 1453-1461.
- [32] GARCÍA-NIETO A P, GARCÍA-LLORENTE M, INIESTA-ARANDIA I, et al. Mapping forest ecosystem services: from providing units to beneficiaries[J]. *Ecosystem Services*, 2013, 4: 126-138.
- [33] 钱欣, 王德, 马力. 街头公园改造的收益评价: CVM价值评估法在城市规划中的应用[J]. *城市规划学刊*, 2010(3): 41-50. (QIAN Xin, WANG De, MA Li. Benefit valuation on the improvement of street parks: the CVM application in urban planning[J]. *Urban Planning Forum*, 2010(3): 41-50.)