

朱逊, 张雅倩, 朱慧明, 赵巍. 城市绿色基础设施政策工具的系统综述和研究前沿分析[J]. 风景园林, 2024, 31 (11): 86-93.

城市绿色基础设施政策工具的系统综述和研究前沿分析

朱逊 张雅倩 朱慧明 赵巍*

摘要: 【目的】城市绿色基础设施政策工具是由政府主导实施的促进城市绿色基础设施建设的重要手段。【方法】以绿色基础设施政策工具为研究对象, 借助 Bibliometrix R Package 软件和 CiteSpace 软件, 以文本检索、计量分析、编码分类为研究线索, 深入剖析了 12 项代表性城市绿色基础设施政策工具的发展历程, 对比其发展历程、指标体系、绩效评估方式和政策管控路径的优势和劣势, 探究绿色基础设施建设管理与生态系统服务目标有机结合的途径和方式。【结果】1) 城市绿色基础设施政策工具的目标定位从解决单一雨水问题转向评估生态系统服务多重效益。2) 政策指标初期包括植物、水系和土壤元素, 后期逐步形成包括地表复层植被、地表蓝绿设施、建筑垂直绿化、建筑绿色屋顶项目元素, 以及直接干预、动物介入管理元素的层级体系。3) 城市绿色基础设施政策工具有强制约束土地利用的“一致性”和间接鼓励的“描述性”2 种模式, 结合了标准权重和绩效阈值 2 种互补的城市开发项目筛选机制, 工具应用于规划、建设、管控、监测全周期过程。4) 结合生态系统服务需求, 校准城市绿色基础设施政策工具的绩效评估权重已成为迫切需求。【结论】城市绿色基础设施政策工具将成为应对全球问题和城市挑战的有力手段, 揭示其管控落实过程的多元思路, 可为城市绿色基础设施优化与完善提供政策指引和技术支持。
关键词: 风景园林; 绿色基础设施; 绿色指数; 政策工具; 基于自然的解决方案; 生态系统服务
基金项目: 黑龙江省双创智库项目 (编号 ZKKF2022186); 黑龙江省艺术科学规划项目 (编号 2023B094); 哈工大哲学社会科学高质量发展计划科研项目 (编号 HIT.HSS.202210)

中图分类号: TU986

文献标识码: A

文章编号: 1673-1530(2024)11-0086-08

DOI: 10.3724/j.fjyl.202402020082

收稿日期: 2024-02-02

修回日期: 2024-09-19

开放科学 (资源服务)
标识码 (OSID)



1 研究背景

城市绿色基础设施 (urban green infrastructure, UGI) 能够发挥调节气候和雨水径流、增加生物多样性等生态系统服务功能。世界自然保护联盟 (International Union for Conservation of Nature, IUCN) 表示, UGI 是利用自然应对可持续发展挑战的综合途径之一^[1], 是基于自然的解决方案 (Nature-based Solutions, NbS) 的重要实施方式^[2]。IUCN 呼吁各大城市制定有效的规划方法和管理政策促进绿色基础设施的实施, 并将其纳入政府对城市开发项目的全周期管控中^[3]。然而在 UGI 的规划管理过程中, 由于在 UGI 的指标类型、命名和绩效评估方面未有科学标准, UGI 分类标准和量纲的多样性所带来的歧义严重阻碍了政府部门的政策、规划和监测方案的制定。UGI 建设效益难以量化, 无法进行科学衡量和管理^[4], 导致众多城市存在 UGI 指标框架与实践管理脱节的问题。

UGI 政策工具是部分国外城市由政府主

导实施的一系列促进 UGI 建设的规划管理政策工具的统称^[5]。通过对城市各类 UGI 指标进行定量评估, 结合标准权重和绩效阈值 2 种互补的机制, 筛选、评估、约束项目的开发建设, 促进 UGI 建设并提升生态系统服务水平。UGI 政策工具是集绿色基础设施的量化、评估、管控于一体的完备体系, 对 UGI 的实施和管理具有重要指导意义, 各大城市为应对环境、气候和社会经济变化带来的城市挑战, 亟需有效的政策工具来推进 UGI 建设和绩效评估^[6-7] (图 1)。因此, 有待借鉴国外 UGI 政策工具的先进经验, 同时比较分析各国 UGI 政策工具在应用过程中遇到的共性问题, 进一步为 UGI 建设的政策实践提供参考。

本研究梳理国外代表性的 UGI 政策工具, 总结其发展历程、指标体系、绩效评估方式和政策管控路径的优势和劣势。同时在此基础上参照国际共识的 NbS 全球标准的 3 层结构分类, 统一 UGI 分类的学术语境并制定操作框架, 为 UGI 建设提供政策指引和技术支持。

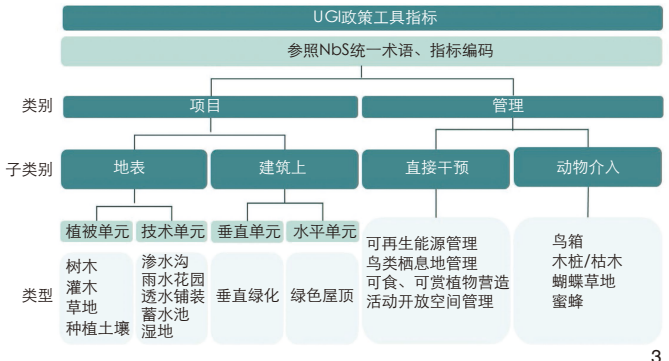
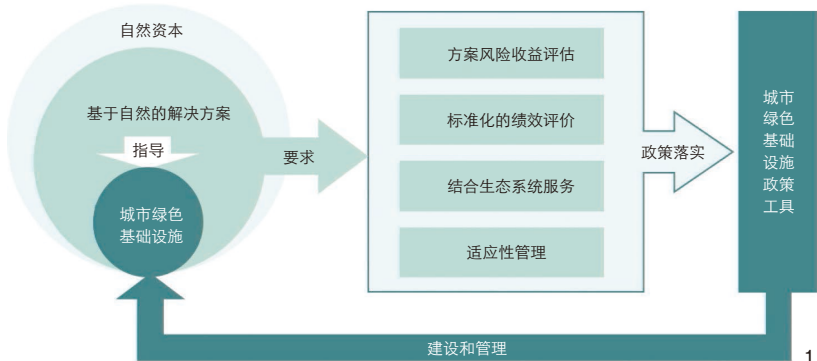
2 研究方法

2.1 数据源和检索流程

本研究采用科学计量学方法对 Web of Science (WoS) 核心合集数据库中收录的文章进行了筛选, 利用布尔运算, 以 (“green infrastructure” AND (“tool” OR “toolkit”)) OR “green factor” OR “green indicator” 为关键词, 共检索出 1 433 篇文献, 排除专利、会议论文、学位论文、书籍、未注明来源和其他文档, 剩余 583 篇研究论文文献。为了提高检索准确性、减少误差, 经过阅读标题和摘要, 筛选能够客观量化 UGI 价值或绩效评估的工具, 共筛选出 321 篇文献用于分析。鉴于研究对象是被政府应用于实践管理中的政策工具, 考虑资源获取限制, 通过政府网站获取相关工具手册进行补充审查。最后, 确定了 12 项 UGI 政策工具作为研究对象 (图 2)。

2.2 科学计量分析

本研究利用 Bibliometrix R Package 软件、CiteSpace 软件自带的分析工具, 对文献进行



可视化，便于全面评估 UGI 政策工具的发展和
和应用情况。Bibliometrix R Package 是在 R 语
言环境中开发的开源程序^[8-9]，本研究利用该
程序全面、科学计量了 UGI 政策工具的被引
量，完成 12 项代表性工具的筛选。同时本研
究利用 CiteSpace 生成关键词时间轴，将 UGI
政策工具在发展过程中的转折点和关注点进
行可视化分析，进而梳理 UGI 政策工具的发
展历程。

2.3 指标术语编码

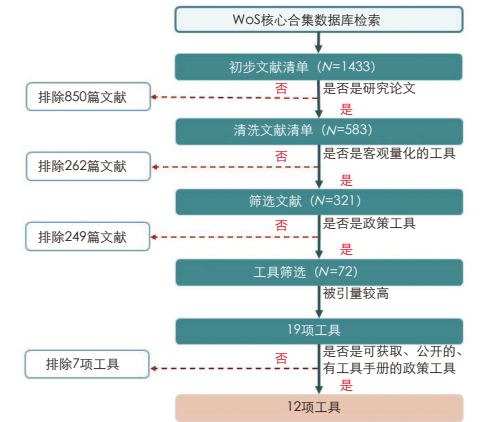
参照联合国环境规划署项目 Nature4Cities
(N4C) 中 NbS 标准的术语和分类方法，统
一 UGI 政策工具中的指标术语并进行编码和
分类^[10]，制定 UGI 政策工具的指标框架。例
如，工具中的术语“green facade with climbing
plants”“green walls”“vegetated walls”“green
facade”“vegetation on trellis or facade”被统一
编码为垂直绿化，“vegetated roofs”“green
roofs”“rooftop gardens or balconies”被统一
编码为绿色屋顶。参照广泛应用的 NbS 的
3 层级分类结构所采用类型学方法，基于变
量识别、聚类及经验规律总结、关系分析
和类型构建的工作流程，本研究建构类别
(categories)、子类别(sub-categories)和类
型(type) 3 个层级框架(图 3)。第一个层
级分为项目和管理。第二个层级将项目分为
地表和建筑上 2 个子类，管理方面依据干预
方式分为动物介入(use of fauna)和直接干
预 2 个子类。第三层级将地表子类分为由乔
木、灌木、草地和土壤构成的复层植被单元
和旨在提供特定功能和服务的蓝绿技术单元。
建筑上子类按照垂直和水平维度分为绿色屋
顶、垂直绿化。

3 研究结果

3.1 城市绿色基础设施工具发展历程

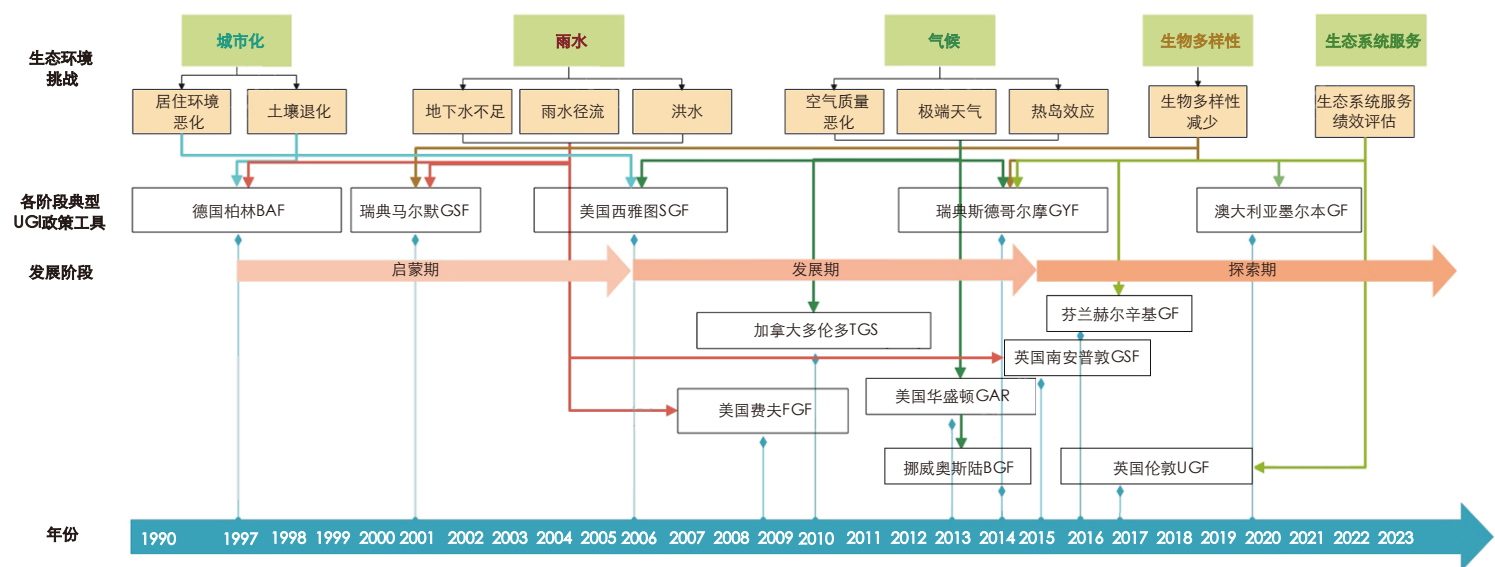
代表性的 12 项 UGI 政策工具包括德国
柏林实施的生境面积指数(biotope area factor,
BAF)^[11]，瑞典马尔默实施的绿色空间指数
(green space factor, GSF)^[12]，美国西雅图实
施的西雅图绿色指数(Seattle green factor,
SGF)^[13]，美国费夫实施的费夫绿色指数
(Fife green factor, FGF)^[14]，加拿大多伦多实
施的多伦多绿色标准(Toronto green standard,
TGS)^[15]，美国华盛顿哥伦比亚特区实施的绿
色面积比率(green area ratio, GAR)^[16]，挪威
奥斯陆实施的蓝绿空间指数(blue green factor,
BGF)^[17]，瑞典斯德哥尔摩实施的绿色空间指
数(瑞典语: Grönytefaktor för kvartersmark,
以下简称 GYF)^[18]，英国南安普敦实施的绿
色空间指数(green space factor, GSF)^[19]，芬
兰赫尔辛基实施的绿色指数(green factor,
GF)^[20]，英国伦敦实施的城市绿色指数
(urban green factor, UGF)^[21]，澳大利亚墨尔
本实施的绿色指数(green factor, GF)^[22]。

依据 CiteSpace 时间轴主题词聚类来梳理
UGI 政策工具的发展历程，发现 UGI 政策工
具的目标定位从解决单一雨水问题转向评估
生态系统服务多重效益(图 4)。1997—2006 年
是 UGI 政策工具的启蒙期，为应对城市化提
出的土地管理和雨水环境问题的挑战，德国
柏林、瑞典马尔默通过评价绿地、水体、土
壤等景观元素，有效引导城市景观扩大规模
和优化质量。德国柏林建立 BAF，用于改善
居住环境土壤高度密封、雨水径流量大且地
下水不足的情况。瑞典马尔默采用 GSF 作为
一种计算新开发项目绿地需求的方法，以提



1 城市绿色基础设施政策工具的建设需求
Demand for construction of UGI policy tools
2 文献检索流程
Flowchart of literature retrieval
3 UGI 政策工具指标编码流程
Flowchart of indicator coding for UGI policy tools

升住区空间品质的最低绿化水平^[23]。启蒙期
的 UGI 政策工具具有评估生态系统服务绩效
的目的，但没有使用生态系统服务的术语。
2006 年进入 UGI 政策工具发展期，以在
德国柏林和瑞典马尔默实施的项目为基础，
针对城市雨水问题，各城市形成了具有特色
的应对方案。SGF 是美国首个用于评估 UGI
的生态价值的规划工具。美国费夫和华盛顿
为了缓解热岛效应、改善空气质量和减少雨
水径流，开发了 FGF 和 GAR 用于评估城市
住区绿色基础设施。南安普敦是英国第一个
制定 UGI 政策工具的城市，开发了基于雨水
渗透能力评估不同类型的地表潜力的 GSF，
而伦敦以扩大绿化规模为目的开发了 UGF。
整体来看，此阶段的 UGI 政策工具实施目标反
映了城市独特的环境条件及问题，虽未使用
生态系统服务的概念和框架，但评估内容涉



4 12项城市绿色基础设施政策工具发展历程
Development history of 12 typical UGI policy tools

及衡量绿地调节服务和支持服务等生态系统服务的功能和过程^[24],并逐步考虑UGI的文化服务效益(如景观价值、美学或娱乐价值)^[25]。

2014年进入UGI政策工具探索期,以瑞典斯德哥尔摩、澳大利亚墨尔本为代表,城市发展项目开始评估UGI的生态系统服务效能。挪威奥斯陆BGF以雨水管理为最核心的评估准则,而生物多样性和高品质生活是基本评估准则。芬兰赫尔辛基GF为应对气候变化,考虑芬兰特有的气候、生态和立法特征以及土地使用者和规划者的意愿,利用GF评估UGI的生态、功能、城市景观和维护功能。挪威奥斯陆BGF、芬兰赫尔辛基GF说明了UGI的生态系统服务效益,但没有直接定义UGI对生态系统服务的贡献。瑞典斯德哥尔摩GYF明确使用生态系统服务评估框架来评估城市蓝色或绿色空间的相对价值。澳大利亚墨尔本GF基于生态系统服务的优先功能进行加权,评分和功能权重计算过程更加科学化。

3.2 城市绿色基础设施工具指标体系

3.2.1 指标和测算标准

统一12项UGI政策工具中GI指标术语并进行重新编码分类,归纳为涵盖地表复层植被、地表蓝绿设施、建筑垂直绿化、建筑绿色屋顶4个项目要素以及直接干预、动物介入2个管理要素的层级体系,并统计各层

级工具指标的使用频次。UGI政策工具包含实际指标和满足特定条件而获得额外分数的奖励指标2种形式。地表复层植被、地表蓝绿设施、建筑垂直绿化和建筑绿色屋顶为实际指标,其中高频指标包括绿色屋顶、垂直绿化、种植土壤、透水铺装、水域、现有和新增树木、草地。德国柏林、瑞典马尔默、美国西雅图、美国费夫、英国南安普敦、英国伦敦实施的UGI政策工具以评估实际指标为主,以直接干预和动物介入为奖励指标,项目建设如果满足指标要求即可获得额外加分,奖励指标的设置体现了对生态系统服务效益的补充衡量。美国西雅图、费夫增加了耐旱本土物种、雨水、开放空间、农作物景观4项奖励指标,美国华盛顿GAR的奖励指标未考虑开放空间,补充了保留、现有和新增植物的分类以及使用可再生能源的评估标准,为拓宽后续生态系统服务效益的评估维度做出了示范。芬兰赫尔辛基和瑞典斯德哥尔摩扩大了奖励指标的范围,强调了奖励指标对量化生物多样性、娱乐价值、气候调节等生态系统服务的重要性。

3.2.2 指标量纲

地表复层植物要素量纲单位包括面积、单位面积和数量3种。UGI政策工具以计算符合土壤深度、植物高度、冠幅、胸径尺度

要求的植被面积为主。其中瑞典斯德哥尔摩GYF结合生态服务情况制定弹性量纲,若指标无法确定具体面积,则根据生态效益赋予其替换面积,替换面积以单位面积和数量衡量,例如GYF的规定是一棵新种植的乔木对应的替换面积为25m²,一棵独立种植的灌木对应的替换面积为4m²。澳大利亚墨尔本GF和加拿大多伦多TGS同样突破了以面积作为量纲单位的限制,以植株数量为衡量单位,但其评估精度要求较高,尚未完全推广。建筑垂直绿化和绿色屋顶的指标量纲是符合所需的生长介质深度的设施面积。动物介入管理以单位面积内存在动物数量为指标量纲,直接干预管理主要是奖励性指标,以人为干预场地面积为主要指标量纲。

3.3 城市绿色基础设施工具绩效评估

3.3.1 评估方式

12项UGI政策工具均通过计算绿色指数(green factor)比较绿色基础设施的建设成效,即生态有效面积与地块总面积的比率,生态有效面积是不同的蓝绿空间面积分别乘以相应权重后相加的结果。计算方式上分为三维要素叠加计算和二维平面计算(图5)。德国柏林BAF、瑞典马尔默GSF、英国伦敦UGF和南安普敦GSF属于二维平面计算方式,即相同类型的指标依据其相应权重计算一次,

不进行叠加计算。而美国西雅图 SGF、美国费夫 FGF、美国华盛顿 GAR、挪威奥斯陆 BGF、芬兰赫尔辛基 GF 和瑞典墨尔本 GF 属于三维要素叠加计算方式，计算时同一场地区域如果满足多个景观分项的要求，可以分层进行叠加统计。

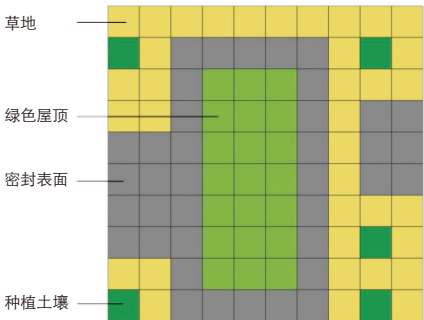
3.3.2 指标权重标准

在指标赋值标准和权重确定方面，12 项 UGI 政策工具的因子加权的方法都是根据不同类型的绿色表面提供的生态服务水平的比例进行加权^[24]，因子权重是对其提供的各种生态系统服务效益的简化度量，因子涵盖植物和土壤的蒸散效率（水分蒸发量）、滞尘能力、雨水渗透和储存能力、对有害物质的过滤能力和生物多样性等内容。

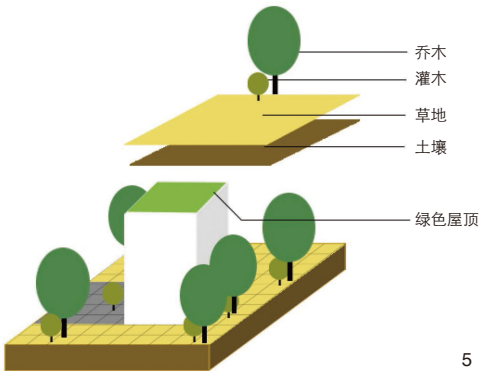
因子权重表明了政府重视的 UGI 规划目标。为了比较不同城市的 UGI 政策目标，计算 12 项 UGI 政策工具中各要素的相对权重。例如，瑞典马尔默 GF 所有属性的分配权重总和为 3.9，绿色屋顶权重为 0.6，因此其权重占总指数权重的百分比约为 15%。权重分析表明，启蒙期各城市重点关注增加植被和蓝绿设施，德国柏林 BAF、瑞典马尔默 GSF、美国费夫 FGF、美国华盛顿 GAR 的权重很大程度上取决于 UGI 处理雨水的能力，但是关于权重确定方面未定义科学的标准。而英国南安普敦 GSF 和伦敦 UGF 则是根据每个景观元素的雨水渗透潜力制定权重标准（图 6）。

随着技术的不断发展，各国开始引入综合环境知识（knowledge synthesis for environmental decisions）等方法，基于 UGI 的生态系统服务效益科学确定 UGI 权重。综合环境知识是指将收集到的多种来源的关于某一专题的知识加以整合用于支持政策的通用过程^[27]。例如，芬兰赫尔辛基 GF 根据 UGI 对生态、功能、景观和维护的重要性计算每个要素的权重，其中生态和功能目标优先于景观和维护，其计算原则和权重以专家意见作为基线数据或使用直接估值法进行加权。又如，瑞典斯德哥尔摩 GYF 包含生态绩效得分体系与生态系统服务效能得分体系。生态绩效得分体系除了计算传统蓝绿空间面积外，还评估了在生物多样性、娱乐价值、气候调节上有贡献的

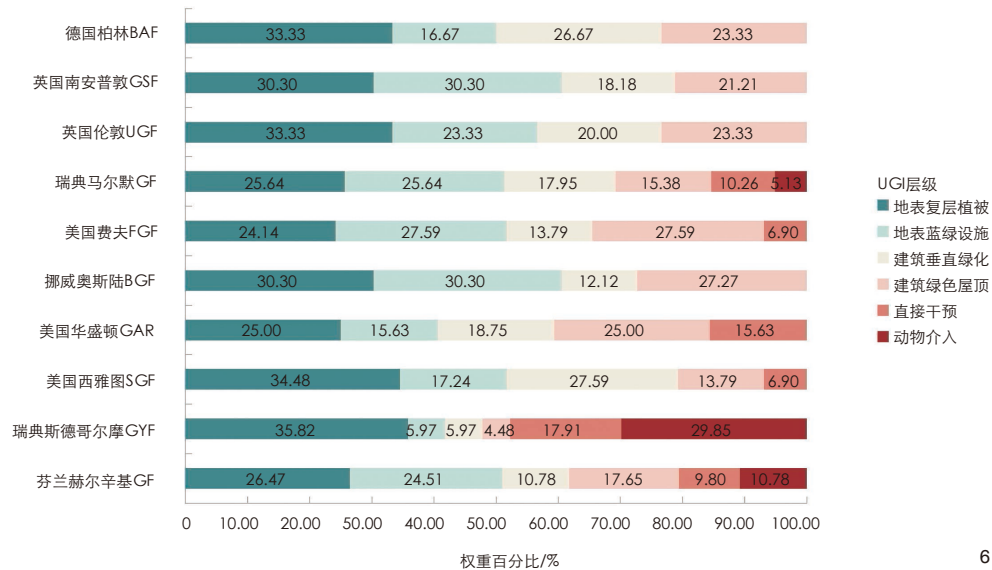
二维平面计算方式示意



三维要素叠加计算方式示意



5



6

5 二维计算和三维计算方式比较

Comparison of two dimensional calculation and three dimensional calculation

6 各类 UGI 的相对权重

Relative weighting of UGI expressed as a percentage

其他要素。生态系统服务效能得分体系评估支持服务、调节服务和文化服务的近 50 种要素，同时设定模板规定每个要素的生态系统服务效能。权重赋值采用 4 级的专家打分制，量化的价值是基于专家对气候变化、雨水管理和社会需求的共同讨论而决定的。再如，澳大利亚墨尔本在开发 UGI 政策工具时，委托墨尔本大学研发了一个与生态系统服务功能相关的加权系统^[28]，对生态系统的各项服务功能进行优先排序，其中温度调节服务权重最高，为 25%，其次为生物多样性的支持服务、雨水管理的调节服务的权重均为 20%，娱乐、地方价值和社区凝聚力的文化服务的权重均为 10%。

3.4 城市绿色基础设施政策工具管控路径

3.4.1 空间开发权和法律约束力

UGI 政策工具能够辅助 UGI 规划建设目标转化为实践项目，通常与政府土地利用和开发政策结合使用。国外对于土地利用和空间开发权分配包含“一致性”（confirmative）和“描述性”（performative）2 种模式。前者通过空间管制分区等形式在规划中预先分配土地利用权和空间开发权，后者的空间发展战略和空间规划分区不具有法律约束力，特定的土地利用和空间开发行为由地方政府发放的“规划许可”（planning permission）确定^[29]。瑞典马尔默 GSF、美国费夫 FGF、加拿大多伦多 TGS、美国华盛顿 GAR、挪威奥斯陆

表1 城市绿色基础设施政策工具系统性比较
 Tab. 1 Systematic comparison of UGI policy tools

政策工具	计算方式	评估目标	评估内容		高权重元素	加权标准	法律地位	最低分数差异依据
			共有	特色				
德国柏林 BAF	二维	土地管理、雨水管理		—	种植土壤	—	强制性或自愿性取决于规划区域	土地利用类型、土地占用指数、新建/现有开发项目扩展
瑞典马尔默 GSF	二维	提高生物多样性、雨水管理		—	绿色屋顶、乔木、垂直绿化	—	强制性	土地占用指数
美国西雅图 SGF	三维	适应气候变化		—	绿色屋顶、乔木	—	强制性或自愿性取决于规划区域	新建项目/现有开发的项目扩展
美国费夫 FGF	三维	雨水管理		增加奖励元素：耐旱本土物种、雨水灌溉、开放空间、农作物景观	垂直绿化、生态滞留池、绿色屋顶	处理雨水能力	强制性	新建项目/现有开发的项目扩展
加拿大多伦多TGS	二维	减少碳排放	乔木、灌木、种植土壤或基质、草地、绿色屋顶、垂直绿化、	增设空气质量、能源与排放、水质和效率、生态和生物多样性、废物与循环经济五大模块	—	—	强制性	土地利用类型
英国伦敦 UG	二维	增加绿化规模	透水铺装、雨水花园、渗透设施	—	新增植被、湿地或开阔水域	—	鼓励性	土地利用类型
美国华盛顿 GAR	三维	宜居性、生态功能、绿地可达性、气候适应	透水铺装、雨水花园、渗透设施	增加奖励元素：本土植物、可食用植物和雨水灌溉	树木（以树冠大小衡量）、绿色屋顶	—	强制性	土地占用指数、新建项目/现有开发项目扩展
挪威奥斯陆 BGF	三维	雨水管理、生物多样性、美好的城市生活		增加蓝色空间要素	蓄水池、种植土壤、现有乔木	—	强制性	空间分异城市内/外
瑞典斯德哥尔摩GYF	三维	社会健康福祉、生物多样性、减缓气候变化		评估支持、调节和文化生态系统服务效能	保存完好的种植土壤、新增乔木	生态系统服务功能优先排序	强制性	土地占用指数
英国南安普敦 GSF	二维	提高生态系统服务		—	水域、深层土壤上的树木、绿色屋顶	雨水渗透率	鼓励性	土地利用类型
芬兰赫尔辛基 GF	三维	雨水管理、生态系统服务		评估UGI生态、功能、景观和维护绩效	保存完好的种植土壤、新增乔木	生态、功能、景观和维护的重要性	强制性或自愿性取决于规划区域	土地利用类型、土地占用指数
澳大利亚墨尔本GF	三维	可持续建筑性能、生物多样性、社会健康福祉		现有保留、新增种植	乔木	生态系统服务功能优先排序	强制性	土地利用类型

注：“—”表示该项没有对应的解释。

BGF 和瑞典斯德哥尔摩 GYF 属于“一致性”模式的政策工具，属于约束项目开发的强制性规范（表 1）。其中美国费夫 FGF 和美国华盛顿 GAR 已纳入地方立法，挪威奥斯陆 BGF 成为所有新住房项目开发的强制性要求。英国伦敦 UGF、英国南安普敦 GSF、澳大利亚墨尔本 GF 属于“描述性”模式的政策工具，采用间接鼓励的方式，不具有法律约束力，但能指导政府做出关于详细规划和建筑许可的决定，可将其视为土地使用监管的参考框架，UGI 项目的实施许可以其评估结果作为衡量条件^[30]。德国柏林 BGF 的强制性和鼓励性取决于具体规划区域的要求，在鼓励性区域，倾向于将 BGF 作为区域景观设计的指南，而强制性区域则是将 BGF 作为法规，用来有效提升 UGI 的生态系统服务功能。加拿大多伦多 TGS 包括多层的管控标准，第 1 级是需要通过规划审批程序的强制性标准，第 2~4 级是较高级别可获得财政奖励。

3.4.2 最低目标要求设置

UGI 政策工具结合了标准权重和绩效阈值 2 种互补的城市开发项目筛选机制。根据绿色基础设施所提供的生态效益的高低进行综合赋值，依据综合生态效益评估结果规定地块用地性质的下限阈值，大多城市通常会设定一个绝大多数地块必须达到且可实现的最低目标阈值，以引导并制约城市各项建设用地的绿色基础设施建设，从而达到可持续发展要求下的生态系统服务水平。

各城市目标分数要根据 3 项指标来确定：土地利用类型（即商业、住宅等）、土地占用指数（即建筑物覆盖的场地比例），以及建设项目是新建的还是对原有建筑物的改造。德国柏林 BAF 涉及以上 3 项标准，弥补了其评估指标算法相对简单的缺陷。要求占用指数较高（>0.5）的场地上修改或扩建的住宅项目的目标分数必须达到 0.3，对于中等占用指数和低占用指数场地上项目的目标分数分

别为 0.45 和 0.6，而新建住宅用地项目的分数都必须达到 0.6 的目标。美国华盛顿 GAR、芬兰赫尔辛基 GF、澳大利亚墨尔本 GF、美国西雅图 SGF 和英国伦敦 UGF 和挪威奥斯陆 BGF 只根据不同的土地利用类型确定具体的目标分数和最低要求分数^[31]。瑞典斯德哥尔摩 GYF 是一个中间案例，最低分数由占用指数来区分，分数不由地点和建筑预期用途而决定。对于建筑物占地块总面积<50% 的项目，最低分数必须达到 1.0，占用指数在 50%~70% 和>70% 的地块项目的最低分数分别为 0.6 和 0.4。

3.4.3 标准化管控平台

UGI 政策工具应用于绿色基础设施规划、建设、管控、监测全周期过程，同时依托于标准化计算模版、应用程序和网页平台，实现多方协同对话并指导 UGI 多功能解决方案的联合决策（图 7）。美国西雅图、芬兰赫尔辛基、美国费夫、美国华盛顿、瑞典斯德哥

尔摩、英国南安普敦政府都提出标准化的 Excel 计算模版核算各城市的 UGI 绿色指数,同时设定具有法律约束力的最低分数作为统一的 UGI 规划基线。瑞典斯德哥尔摩开发了基于 GIS 的 QGYF 程序,可以在 GIS 程序中计算绿色指数,还可浏览 UGI 生态系统服务的可视化地图,进而结合生态系统服务供需和潜力分析 UGI 的建设选址和干预点,同时还可以协同 UGI 方案的生态系统服务效益^[32]。澳大利亚墨尔本搭建了“绿色指数工具”(Green Factor Tool)网站,网页界面设计更加友好,为公众提供了开放访问的机会,网页将各项的绿色指数、UGI 贡献百分比和生态系统服务效益进行直观对比,能够辅助利益相关者对 UGI 方案进行筛选,并利用该网站对 UGI 状态进行持续性监测和管控^[28]。墨尔本政府现已应用平台工具对街区更新项目进行审计并通过了布鲁斯街商业建筑最佳方案,为绿色基础设施的规范化实施提供了准绳。

4 讨论

综合上述对 UGI 政策工具的指标体系、绩效评估和管控路径的经验总结,汲取国际前沿工具方法的先进经验的同时,基于中国城市绿色基础设施发展的现实语境,系统思考了 UGI 政策工具的实施路径。

4.1 对接国际标准的UGI 体系建构

统一 UGI 类型界定、量纲和标度的话语体系。本研究对接 Nbs 国际通用分类标准,构建了包括地表复层植被、地表蓝绿设施、建筑垂直绿化、建筑绿色屋顶 4 个项目元素以及直接干预、动物介入 2 个管理元素的层级体系,以求协调不同项目中的知识基础以达成共识,提高 UGI 的建设管理效率。

4.2 结合生态系统服务校准绿色基础设施评估绩效

结合生态系统服务作为依据进行 UGI 的绩效评估成为迫切需求^[33-34]。首先,建设过程需基于项目的生态系统服务供需和潜力点分析,识别 UGI 的建设选址和干预点^[35];其次,基于 UGI 的生态系统服务功能绩效,辅助政府得出需要优先补充和优化 UGI 的类别^[36-37]。最后,要提高生态系统服务权重设置的科学

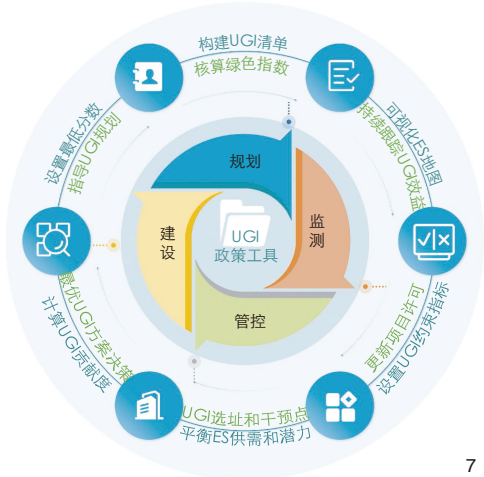
性和指导实践的合理性^[38],利用综合环境知识等方法或者增设专家权重评分研讨等环节,为政策制定提供信息和支持,同时地方政府应要求将学术研究成果作为证据基础,为 UGI 政策工具指标权重和目标的确定提供充分证据。

4.3 建构实现政策法令的管理工具

汲取其他各国将 UGI 纳入城市发展战略的经验,中国还有待从顶层设计上将绿色基础设施建设管控纳入法定规划编制中。目前,中国在促进 UGI 施行的评估、规划和建设的指引标准上,仅在控制性详细规划中有绿地率一项明确的二维平面限值指标作为引导,对于绿色屋顶等具有高生态效益的建设指标,仅在一些大型城市的指引和审批标准中稍有体现,并没有科学的折算和评估标准。在专项规划中,海绵城市建设标准对径流量、雨水管理提出了引导性建议,园林城市和生态城市以复层绿地比率、垂直绿化率和本土植物指数等作为评级考核标准,但并未提出整体性的控制约束性指标来规范具体的 UGI 规划和建设。因此,建议结合国内现有的绿色空间规划体系编制 UGI 专项规划工具,提出 UGI 核算指数来约束并规范 UGI 建设管控的全周期和全过程,对地表复层植被、蓝绿设施、垂直绿化和绿色屋顶等 UGI 设施进行标准化的核算和评估,并明确规定 UGI 发展目标和各项规划用地中 UGI 的建设标准,为 UGI 干预方案决策提供依据。在建设管控过程中可将 UGI 指数核算结果作为城市开发和更新项目的筛选和许可条件,指导城市规划建设方向。还可根据土地利用性质和新建、更新的项目性质,规定 UGI 的最低建设水平,并以此作为场地开发的前置约束条件,以防止出现建设项目声称具有 UGI 的功能和效益,但并未转化为具体的选址和建设标准的实际问题。

5 结语

本研究通过文献计量工具识别出 UGI 政策工具的前沿主题,具体分析借鉴了 12 项代表性的 UGI 政策工具发展和使用的国际经验,回答了工具在何时、何处、如何使用的问题。同时在吸纳国际案例经验的基础上,对标



7 城市绿色基础设施政策工具规划—建设—管控—监测全周期应用路径
Full cycle application path (planning – construction – control – monitoring) of UGI policy tools

Nbs 的国际标准,在统一的话语体系下建立 UGI 的系统分类量纲,深入探讨 UGI 效益评价和管理的科学方案,为应对城市挑战、实现城市可持续发展提供技术支持。

未来城市更新等行动和决策将重点考虑对 UGI 等城市资本的管理,考虑如何通过政策和指标引导城市环境的建设,使土地利用规划和管理符合生态和经济效率。UGI 政策工具已成为国内外城市实现可持续发展的重要议题之一,也将成为应对全球问题和城市挑战的有力工具。

参考文献 (References):

[1] IUCN. Global Standard for Nature-based Solutions. A User-Friendly Framework for the Verification, Design and Scaling up of NbS[J]. Accessed, 2020, 15 (12): 1-21.
[2] 张翼飞, 李嘉蕙, 王艺蔚. 中国城市绿色基础设施绩效研究: 基于自然的解决方案[J]. 生态经济, 2022, 38 (11): 100-107.
ZHANG Y F, LI J H, WANG Y W. Analysis on NbS Performance of Urban Green Infrastructure Practice in China[J]. Ecological Economy, 2022, 38 (11): 100-107.
[3] ANGULURI R, NARAYANAN P. Role of Green Space in Urban Planning: Outlook Towards Smart Cities[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2017, 25: 58-65.
[4] 蒋理, 刘颂, 刘超. 蓝绿基础设施对城市气候韧性构建的作用: 基于共引文献网络的文献计量分析[J]. 景观设计学 (中英文), 2021, 9 (6): 8-23.
JIANG L, LIU S, LIU C. The Contributions of Blue-Green Infrastructure to Building Urban Climatic Resilience: Bibliometric Analysis Based on Co-citation Networks[J]. Landscape Architecture Frontiers, 2021, 9 (6): 8-23.
[5] 张炜, 王凯. 基于绿色基础设施生态系统服务评估的政

策工具, 绿色空间指数研究: 以柏林生境面积指数和西雅图绿色指数为例[J]. 中国园林, 2017, 33 (9): 78-82.

ZHANG W, WANG K. The Green Space Factor as a Regulation Tool to Evaluate the Performance of Urban Green Infrastructure: A Case Study of Berlin Biotope Area Factor and Seattle Green Factor[J]. Chinese Landscape Architecture, 2017, 33 (9): 78-82.

[6] PAULEIT S, AMBROSE-OJI B, ANDERSSON E, et al. Advancing Urban Green Infrastructure in Europe: Outcomes and Reflections from the GREEN SURGE Project[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2019, 40: 4-16.

[7] BOULTON C, DEDEKORKUT-HOWES A, BYRNE J. Factors Shaping Urban Greenspace Provision: A Systematic Review of the Literature[J]. Landscape and Urban Planning, 2018, 178: 82-101.

[8] JIANG X, SUN Y T, QU Y P, et al. The Development and Future Frontiers of Global Ecological Restoration Projects in the Twenty-First Century: A Systematic Review Based on Scientometrics[J]. Environmental Science and Pollution Research International, 2023, 30 (12): 32230-32245.

[9] 李昊, 潘宇光, 王磊. Bibliometrix: 一款新的基于 R 语言的文献计量软件介绍与评价[J]. 大学图书馆学报, 2018, 36 (4): 93-104.

LI H, PAN Y G, WANG L. Bibliometrix: A New Bibliometrics Analysis Software[J]. Journal of Academic Library and Information Science, 2018, 36 (4): 93-104.

[10] CASTELLAR J A C, POPARTAN L A, PUEYO-ROS J, et al. Nature-based Solutions in the Urban Context: Terminology, Classification and Scoring for Urban Challenges and Ecosystem Services[J]. Science of the Total Environment, 2021, 779: 146237.

[11] Senatsverwaltung Klimaschutz und Umwelt. Senate Department for the Environment, Transport and Climate Protection Landscape Planning[EB/OL]. (2010)[2024-07-10]. http://www.berlin.de/senuvk/umwelt/landschaftsplanung/bff/index_en.shtml.

[12] KRUUSE A. The Green Space Factor and the Green Points System[EB/OL]. (2011)[2024-07-09]. <https://www.redefrogforum.org/wp-content/uploads/2020/04/125-GRaBS-Expert-Paper-6-the-green-space-factor-and-the-green-points-system.pdf>.

[13] Seattle Department of Planning and Development. Seattle Department of Construction & Inspections Seattle Green Factor[EB/OL]. (2006)[2024-07-10]. <http://www.seattle.gov/dpd/codesrules/codes/greenfactor/default.htm>.

[14] STENNING E. An Assessment of the Seattle Green Factor: Increasing and Improving the Quality of Urban Green Infrastructure. University of Washington, Seattle, WA. [EB/OL]. (2024-09-04)[2024-09-11]. [https://www.seattle.gov/sdci/codes/codes-we-enforce-\(a-z\)/seattle-green-factor](https://www.seattle.gov/sdci/codes/codes-we-enforce-(a-z)/seattle-green-factor).

[15] Toronto Department of Planning and Development. Toronto Green Standard Overview[EB/OL]. (2019)[2024-03-09]. <https://www.toronto.ca/city-government/planning-development/official-plan-guidelines/toronto-green-standard/toronto-green-standard-overview/>.

[16] Department of Energy & Environment. Green Area Ratio Overview[EB/OL]. (2013)[2024-07-10]. <http://doee.dc.gov/GAR>.

[17] Plan-og Bygningsetaten. Blagronn Faktor Veileder Byggesak[EB/OL]. (2014-01-28)[2024-07-10]. https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/subnettsteder/framtidens_byer/klimatilpasning/2014/bgf_veileder_byggesakhove

ddelen2014.01.28.pdf.

[18] Exploateringskontoret, Miljöförvaltningen och Stadsbyggnadskontoret på Stockholms stad. GYF-Grönytefaktor för Kvartersmark[EB/OL]. (2021-06-17)[2024-07-10]. <https://tillstand.stockholm/globalassets/foretag-och-organisationer/tillstand-och-regler/tillstand-regler-och-tillsyn/lokal-och-fastigheter/handboker-och-riktlinjer-vid-byggnation-i-stockholm/gyf-for-kvartersmark.pdf>.

[19] Southampton Department of Planning and Development. Southampton Green Space Factor Guidance.[EB/OL]. (2024)[2024-07-10]. <https://www.southampton.gov.uk/media/kajkr23v/green-space-factor-guidance-2024.pdf>.

[20] Helsingin Kaupunkiympäristön Toimialan. City of Helsinki Developing a Green factor tool for City of Helsinki Climate-Proof City: The Planner's Workbook[EB/OL]. (2016)[2024-07-11]. <http://ilmastotyokalu.fi/developing-a-green-factor-tool-for-city-of-helsinki/>.

[21] Greater London Authority. Urban Greening Factor for London Research Report[EB/OL]. (2017-07-24)[2024-07-11]. https://www.london.gov.uk/sites/default/files/urban_greening_factor_for_london_final_report.pdf.

[22] Melbourne Department of Building and development. Green Factor tool for Melbourne[EB/OL]. (2020-03-21)[2024-07-11]. <https://www.melbourne.vic.gov.au/community/greening-the-city/green-infrastructure/Pages/green-factor-tool.aspx>.

[23] AUSTIN G. Case Study and Sustainability Assessment of Boo1, Malmö, Sweden[J]. Journal of Green Building: Summer, 2013, 8 (3): 34-50.

[24] RINNE J, PRIMMER E. A Case Study of Ecosystem Services in Urban Planning in Finland: Benefits, Rights and Responsibilities[J]. Journal of Environmental Policy & Planning, 2016, 18 (3): 286-305.

[25] RING Z, DAMYANOVIC D, REINWALD F. Green and Open Space Factor Vienna: A Steering and Evaluation Tool for Urban Green Infrastructure[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2021, 62: 127131.

[26] 侯锦雄.应用生境面积因子在台湾云林县的永续农业景观规划[J].中国园林, 2011, 27 (12): 10-14.

HOU J X. Sustainable Agriculture Landscape Planning of Yunlin County: Application of Biotope Area Factor[J]. Chinese Landscape Architecture, 2011, 27 (12): 10-14.

[27] CORTINOVIS C, GENELETTI D, HEDLUND K. Synthesizing Multiple Ecosystem Service Assessments for Urban Planning: A Review of Approaches, and Recommendations[J]. Landscape and Urban Planning, 2021, 213: 104129.

[28] BUSH J, ASHLEY G, FOSTER B, HALL G. Integrating Green Infrastructure into Urban Planning: Developing Melbourne's Green Factor Tool[J]. Urban Planning, 2021, 6 (1): 20-31.

[29] 郝庆.对机构改革背景下空间规划体系构建的思考[J].地理研究, 2018, 37 (10): 1938-1946.

HAO Q. The Construction of Spatial Planning System Under the Background of Institutional Reform[J]. Geographical Research, 2018, 37 (10): 1938-1946.

[30] PAPPALARDO V, LA ROSA D. Policies for Sustainable Drainage Systems in Urban Contexts Within Performance-Based Planning Approaches[J]. Sustainable Cities and Society, 2020, 52: 101830.

[31] VENTER Z S, BARTON D N, MARTINEZ-IZQUIERDO L,

et al. Interactive Spatial Planning of Urban Green Infrastructure: Retrofitting Green Roofs Where Ecosystem Services Are Most Needed in Oslo[J]. Ecosystem Services, 2021, 50: 101314.

[32] JUHOLA S. Planning for a Green City: The Green Factor Tool[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2018, 34: 254-258.

[33] STANGE E E, BARTON D N, ANDERSSON E, et al. Comparing the Implicit Valuation of Ecosystem Services from Nature-Based Solutions in Performance-Based Green Area Indicators Across Three European Cities[J]. Landscape and Urban Planning, 2022, 219: 104310.

[34] HEIN L, BAGSTAD K J, OBST C, et al. Progress in Natural Capital Accounting for Ecosystems Global Statistical Standards Are Being Developed[J]. Science, 2020, 367: 514-515.

[35] 刘颂, 戴常文. 自然资本引领绿色基础设施可持续管理[J]. 中国园林, 2022, 38 (3): 40-44.

LIU S, DAI C W. Sustainable Management of Green Infrastructure Guided by Natural Capital[J]. Chinese Landscape Architecture, 2022, 38 (3): 40-44.

[36] COSTANZA R, DE GROOT R, BRAAT L, et al. Twenty Years of Ecosystem Services: How Far Have We Come and How Far Do We Still Need to Go?[J]. Ecosystem Services, 2017, 28: 1-16.

[37] 王云才, 刘玲. 远程耦合: 绿色基础设施绩效评价的空间生态智慧[J]. 中国园林, 2023, 39 (10): 51-55.

WANG Y C, LIU L. Telecoupling: Spatial Ecological Wisdom for Performance Evaluation of Green Infrastructure[J]. Chinese Landscape Architecture, 2023, 39 (10): 51-55.

[38] HUANG P S, TSAI S M, LIN H C, et al. Do Biotope Area Factor Values Reflect Ecological Effectiveness of Urban Landscapes? A Case Study on University Campuses in Central Taiwan[J]. Landscape and Urban Planning, 2015, 143: 143-149.

图表来源(Sources of Figures and Table):
文中图表均由作者绘制。

(编辑 / 刘昱霏)

作者简介:

朱逊 / 女 / 博士 / 哈尔滨工业大学建筑与设计学院教授 / 寒地城乡人居环境科学与技术工业和信息化部重点实验室成员 / 研究方向为寒地城市景观规划设计

张雅倩 / 女 / 哈尔滨工业大学建筑与设计学院在读博士研究生 / 寒地城乡人居环境科学与技术工业和信息化部重点实验室成员 / 研究方向为寒地城市景观规划设计和城市生物多样性

朱慧明 / 女 / 哈尔滨工业大学建筑与设计学院在读硕士研究生 / 寒地城乡人居环境科学与技术工业和信息化部重点实验室成员 / 研究方向为风景园林与绿色低碳发展

赵巍 / 女 / 博士 / 哈尔滨工业大学建筑与设计学院副研究员、硕士生导师 / 寒地城乡人居环境科学与技术工业和信息化部重点实验室成员 / 研究方向为城市声景观
通信作者邮箱: zhaoweila@hit.edu.cn

ZHU X, ZHANG Y Q, ZHU H M, ZHAO W. Systematic Review and Research Frontier Analysis of Urban Green Infrastructure Policy Tools[J]. Landscape Architecture, 2024, 31(11): 86-93. DOI: 10.3724/j.fjyl.202402020082.

Systematic Review and Research Frontier Analysis of Urban Green Infrastructure Policy Tools

ZHU Xun, ZHANG Yaqian, ZHU Huiming, ZHAO Wei*

Abstract:

[Objective] The construction of urban green infrastructure is one of the major scientific and technological tasks to cope with environmental risks such as global climate change and ecosystem imbalance. As a Nature-based Solution, urban green infrastructure (UGI) policy tools have become an important means led by the government to promote the construction of urban green infrastructure.

[Methods] With UGI policy tools as the research object and text retrieval, econometric analysis and coding classification as research clues, this research, by virtue of Bibliometrix R Package software and CiteSpace software, conducts a visual analysis of the research status, hot trends and research directions in the field of UGI policy tools. Specifically, the research deeply analyzes the development history of 12 typical UGI policy tools, compares the strengths and weaknesses of their derivative background, implementation purpose, indicator system, performance assessment method, and policy regulation path, and analyzes the ways and means for organically combining UGI construction and management with ecosystem service objectives, aiming to provide policy guidance and technical support for the optimization and improvement of UGI.

[Results] The core issues of green infrastructure evaluation tools include basic performance, benefit evaluation and index measurement methods. "Ecosystem services" and "green infrastructure assessment" are the driving themes, and evaluating green infrastructure in combination with ecosystem services has become an important trend. Based on the map of national scientific research output and the map of tool citations, 12 representative policy tools are selected. The development of such tools has gone through three stages: enlightenment, exploration and development. In the first stage, in response to the challenges of land management and stormwater environment issues caused by urbanization, Berlin and Malmo developed representative policy tools to creatively integrate landscape elements such as greening, water system and soil in urban planning and design, and effectively guide the quantity increase and quality optimization of urban landscape through evaluation indicators. In the second stage, different cities developed their distinctive solutions to urban rainwater, climate and environment problems. In the third stage of exploration, green infrastructure assessment tools mainly implemented in Stockholm in Sweden, Melbourne in Australia, etc., gradually focused on the assessment of ecosystem service performance. By combing and comparing 12 typical UGI policy tools, this research obtains the following findings. 1) UGI policy tools have gradually

become a powerful means to deal with urban challenges, with their target orientation shifting from solving a single stormwater problem to assessing multiple benefits of ecosystem services. 2) The research unifies the indicator terms involved in UGI policy tools and encode and classify them with reference to the standard NbS terms and classification methods described in Nature4Cities (N4C) issued by the United Nations Environment Programme. Policy indicators range from the integration of greening, water system and soil elements to a hierarchical system that includes project elements such as surface cladding vegetation, surface blue and green facilities, vertical greening of buildings, and green roofs of buildings, as well as management elements of direct intervention and animal intervention. 3) The tools can be divided into the "confirmative" mode of mandatory land use restriction or the "performative" mode of indirect encouragement, combining the two complementary urban development project screening mechanisms of standard weight and performance threshold, covering the whole process from planning, construction to control and monitoring. 4) It has become an urgent need to calibrate the performance of UGI policy tools according to ecosystem service demand, and to develop tools to assess the effectiveness of regulatory services (carbon sequestration and climate regulation), provision services and cultural services of UGI. Therefore, in the future, synergies and trade-offs between ecosystem services can be incorporated into the weighted basis, and a UGI policy tool covering a multi-objective evaluation system may be developed to examine the potential ecological, social and economic benefits of different green infrastructure solutions.

[Conclusion] The development of UGI policy tools will become a powerful weapon to deal with global issues and urban challenges. It is recommended to, in alignment with the international general classification standard for NbS, unify the UGI discourse system involving UGI type definition, dimension and scale to provide policy guidance and technical support for the optimization and improvement of UGI.

Keywords: landscape architecture; urban green infrastructure (UGI); green factor; policy tool; Nature-based Solutions (NbS); ecosystem service

Authors:

ZHU Xun is a professor in the School of Architecture and Design, Harbin Institute of Technology University, and a member of the Key Laboratory of Cold Region Urban and Rural Human Settlement Environment Science and Technology, Ministry of Industry and Information Technology. Her research focuses on urban landscape planning and design in cold region.

ZHANG Yaqian is a Ph.D. candidate in the School of Architecture and Design, Harbin Institute of Technology University, and a member of the Key Laboratory of Cold Region Urban and Rural Human Settlement Environment Science and Technology, Ministry of Industry and Information Technology. Her research focuses on urban landscape planning and design in cold region and urban biodiversity.

ZHU Huiming is a master student in the School of Architecture, Harbin Institute of Technology, and a member of the Key Laboratory of Cold Region Urban and Rural Human Settlement Environment Science and Technology, Ministry of Industry and Information Technology. Her research focuses on landscape architecture and green and low-carbon development.

ZHAO Wei, Ph.D., is an associate research fellow in the School of architecture and Design, Harbin Institute of Technology University, and a member of the Key Laboratory of Cold Region Urban and Rural Human Settlement Environment Science and Technology, Ministry of Industry and Information Technology. Her research focuses on urban soundscape. Corresponding author Email: zhaoweila@hit.edu.cn