

全球城市 FBR 10-m 栅格数据集（2023）研发

赵丽凤^{1,2}, 田莉^{1,2*}, 杨阳³, 王振波^{1,2}

- 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;
- 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049;
- 北京工业大学计算机学院, 北京 100124

摘要: 城市林地的空间分布与结构特征是衔接可持续发展目标 SDG 11（可持续城市）与 SDG 13（气候行动）落实的关键前提。为克服传统指标在空间边界界定、跨城市可比性及内部公平性刻画方面的局限, 本文利用 10-m 分辨率 ESRI 土地利用数据（2023）, 通过 1-km 滑动窗口构建了林地-不透水面比率（Forest-to-Built-up Area Ratio, FBR）指标, 形成了全球 978 个城市的 FBR 数据集（2023）。该指标聚焦城市建成区这一实体空间范围, 通过构建林地与不透水面的比值关系消除城市规模差异, 并实现像元尺度的空间异质量化。数据集存储为.tif 格式, 由 978 个文件组成, 数据量为 53.5 GB（压缩为 3 个文件, 1.92 GB）。该数据集支持了第一作者资源与环境硕士理学学位论文的完成。

关键词: 林地-不透水面比率（FBR）; 城市建成区; 空间异质性; 全球数据集; 10-m 分辨率; 硕士理学学位论文

DOI: <https://doi.org/10.3974/geodp.2026.02.02>

CSTR: <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2026.02.02>

数据可用性声明:

本文关联实体数据集已在《全球变化数据仓储电子杂志（中英文）》出版, 可获取:

<https://doi.org/10.3974/geodb.2025.11.06.V1> 或 <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2025.11.06.V1>.

1 引言

城市林地的生态系统服务质量显著高于其他的绿色基础设施^[1,2]。建设城市林地是城市系统实现 SDG11（建设包容、安全、有抵御灾害能力和可持续的城市和人类住区）和 SDG13（采取紧急行动应对气候变化及其影响）两大目标的重要手段。然而, 近 10 年来, 除欧洲外, 所有大陆的城市树木覆盖率均有所下降^[3]。而且, 气候变暖加剧热岛效应使得树木碳汇效率显著降低^[4]。因此, 城市林地面临着面积减少和质量下降等多重风险。在此背景下, 科学量化城市林地的空间分布与结构特征, 是衔接 SDG 11 与 SDG

收稿日期: 2025-10-30; 修订日期: 2026-03-16; 出版日期: 2026-04-25

基金项目: 国家社会科学基金（25&ZD094）

*通讯作者: 田莉, 中国科学院地理科学与资源研究所, 中国科学院大学, tianli@igsrr.ac.cn

数据引用方式: [1] 赵丽凤, 田莉, 杨阳等. 全球城市 FBR 10-m 栅格数据集（2023）研发[J]. 全球变化数据学报, 2026, 10(2): 121–127. <https://doi.org/10.3974/geodp.2026.02.02>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2026.02.02>.

[2] 赵丽凤, 田莉, 杨阳等. 全球城市 FBR 10-m 栅格数据集（2023）[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2025. <https://doi.org/10.3974/geodb.2025.11.06.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2025.11.06.V1>.

13 目标落实的关键前提。

当前,学术界已形成多种城市林地数量的度量指标与方法,主要包括覆盖率类和面积类两大类。覆盖率类指标^[5](如树冠覆盖率、树木覆盖率)因与地表温度、热舒适度等气候调节指标密切相关,被广泛应用于城市热岛缓解效应评估^[6];面积类指标(如森林覆盖面积、绿地面积)则为森林资源监测与绿色可持续发展评价提供了直观的数量依据^[7-9]。这些研究为理解城市林地的生态功能奠定了重要基础。然而,从支撑 SDG 11(可持续城市)和 SDG 13(气候行动)目标落实的角度审视,现有指标仍存在两方面局限。其一,空间边界界定不一。多数研究以行政区划或自然边界作为统计单元^[10-12],难以准确反映城市实体地域内林地与建成环境的交互关系,而 SDG 11 强调“城市和人类住区”的可持续性,其关注的核心空间单元应是居民实际活动的建成区范围。其二,可比性与尺度精细度不足。覆盖率、面积等绝对数值指标受城市规模、自然本底等因素影响较大,难以实现跨城市、跨区域的横向比较;同时,传统指标多停留在城市整体均值层面^[7,8],无法揭示林地分布的空间异质性及内部公平性问题,而后者恰恰是 SDG 11 中“包容性”与“安全性”的关键内涵。

为应对上述挑战,本研究基于 ESRI 10-m 土地利用数据构建了城市林地-不透水面比率(Forest-to-Built-up Area Ratio, FBR)。该指标的优势主要体现在 3 个方面:一是在空间范围上精准聚焦城市实体。本研究采用基于建成区提取的城市边界,排除了郊区及非城市建成环境的干扰。二是在可比性上实现城市间的去规模效应。通过构建林地与不透水面的比值关系,消除了城市自身面积体量的影响,使得不同规模、不同发展阶段的城市能够在同一维度下进行横向比较。三是在尺度上实现空间异质性的精细刻画,从而支持城市内部生态空间分布公平性与均衡性的量化分析。

2 数据集元数据简介

《全球城市 FBR 10-m 栅格数据集(2023)》^[13]的名称、作者、地理区域、数据年代、数据集组成、数据出版与共享服务平台、数据共享政策等信息见表 1。

3 数据研发方法

3.1 数据来源

本研究所采用的 2018 年 978 个全球城市边界数据源自清华大学 FROM-GLC 研究组^[15],后经香港大学陈斌等学者为特定研究处理后的版本^[16]。该数据集依托 30-m 分辨率全球人工不透水面(Global Artificial Impervious Area, GAIA)产品提取全球城市边界(Global Urban Boundary, GUB),得到城市实体地域的物理空间范围^[15]。在此基础上,本研究对边界数据开展了 3 方面优化处理:一是对存在公共边界的空间要素进行合并处理;二是对建成区边界与 Google Earth 高分辨率卫星影像存在明显偏差的区域予以修正;三是剔除分类错误及不包含林地的建成区边界单元。本研究使用的林地与不透水面空间范围数据,来源于 2023 年 ESRI 10-m 分辨率土地利用产品¹。

¹ Esri Land Cover Explorer. <https://livingatlas.arcgis.com/landcover/>.

3.2 研究方法

像元尺度的林地-不透水面比率（FBR）是基于 10 m×10 m 空间分辨率的 ESRI 土地利用数据，使用滑动窗口法计算各像元的 FBR。滑动窗口设置为以目标像元为中心、边长约为 2 km 的正方形区域，即中心像元至窗口四条边的垂直距离均约为 1 km。该 1 km 距离阈值的设定参考了城市研究中“15 分钟生活圈”的典型服务半径，旨在捕捉居民日常活动范围内的林地与建成环境配比关系。

表 1 《全球城市 FBR 10-m 栅格数据集（2023）》元数据简表

条目	描述
数据集名称	全球城市 FBR 10-m 栅格数据集（2023）
数据集短名	UrbanFBR
作者信息	赵丽凤,中国科学院地理科学与资源研究所,中国科学院大学,zhaolifeng23@mailsucas.ac.cn 田莉,中国科学院地理科学与资源研究所,中国科学院大学,tianli@igsnr.ac.cn 杨阳,北京工业大学计算机学院,yangyang@emails.bjut.edu.cn 王振波,中国科学院地理科学与资源研究所,中国科学院大学,wangzb@igsnr.ac.cn
地理区域	全球
数据年代	2023 年
数据格式	.tif
数据量	1.92 GB（压缩后）
数据集组成	978 个城市的 FBR 栅格数据
基金项目	中国科学院（XDA28060400）；中华人民共和国科学技术部（2024YFD1500203）
数据计算环境	Python、ArcGIS、QGIS、Google Earth
出版与共享服务平台	全球变化科学研究数据出版系统 http://www.geodoi.ac.cn
地址	北京市朝阳区大屯路甲 11 号 100101, 中国科学院地理科学与资源研究所
数据共享政策	（1）“数据”以最便利的方式通过互联网系统免费向全社会开放，用户免费浏览、免费下载；（2）最终用户使用“数据”需要按照引用格式在参考文献或适当的位置标注数据来源；（3）增值服务用户或以任何形式散发和传播（包括通过计算机服务器）“数据”的用户需要与《全球变化数据学报（中英文）》编辑部签署书面协议，获得许可；（4）摘取“数据”中的部分记录创作新数据的作者需要遵循 10%引用原则，即从本数据集中摘取的数据记录少于新数据集总记录量的 10%，同时需要对摘取的数据记录标注数据来源 ^[14]
数据和论文检索系统	DOI, CSTR, Crossref, DCI, CSCD, CNKI, SciEngine, WDS, GEOSS, PubScholar, CKRSC

$$FBR_{i,j} = \frac{1 + Pixels_{Trees}^{i,j}}{1 + Pixels_{BuiltArea}^{i,j}}$$

(1)

式中， $Pixels_{Trees}^{i,j} \in [0, 40401]$ ，为 j 城市 i 像元所对应的滑动窗口范围内的土地利用类型为林地的像元数量； $Pixels_{BuiltArea}^{i,j} \in [0, 40401]$ 为 j 城市 i 像元所对应的滑动窗口范围内的土地利用类型为人造地表的像元数量。 $FBR_{i,j} \in (0, 40402]$ ，为 j 城市 i 像元的“林地-人造地表

比率 (FBR)”。 FBR_{ij} 值越小表示 j 城市 i 像元 1-km 范围内的林地越少且人造地表越多; FBR_{ij} 值越大,表示 j 城市 i 像元 1-km 范围内林地分布越多, $FBR_{ij}=40402$ 表示 i 像元 1-km 范围内被林地全部覆盖。

4 数据结果

4.1 数据集组成

《全球城市 FBR 10-m 栅格数据集 (2023)》内容包括:全球 978 个城市的 FBR 栅格数据。文件命名为对应城市所在的主要行政区划的名称。数据集存储为.tif 格式,由 978 个文件组成,数据量为 53.5 GB (压缩为 3 个文件,1.92 GB)。

4.2 数据结果分析

全球 978 个城市的建成区 FBR 在空间分布上呈现出显著的异质性与区域集聚特征。总体而言,FBR 高值区 (≥ 0.13) 多集中于北半球中高纬度地区以及部分热带湿润地区;而低值区 (0.00–0.05) 则广泛分布于中低纬度干旱/半干旱地区及部分人口高度密集的快速城市化区域。这种分布格局表明,城市内部的林地保留与建设强度之间的博弈结果受到宏观地理背景的强烈制约。

在全球尺度下,不同大洲及次区域的 FBR 表现出截然不同的空间模式。首先,北美地区呈现显著的“东西分异”。美国东部及东南部城市密集区广泛呈现 FBR 高值 (≥ 0.26),这与该区域良好的水热条件高度吻合;而受限于干旱气候,美国中西部及墨西哥的城市 FBR 普遍较低。欧洲地区表现出明显的“纬度地带性”,欧洲大陆城市的 FBR 呈现自南向北递增的趋势。斯堪的纳维亚半岛、东欧及俄罗斯联邦的城市多处于最高值区间 (≥ 0.26),反映了高纬度针叶林/阔叶林带背景下较低的建筑密度与丰富的城市绿地;而南欧地中海沿岸城市 FBR 相对较低 (多在 0.02–0.12 之间)。此外,亚洲地区格局复杂,两极分化严重。受到人口密度与城市化进程的双重影响,南亚地区 (如印度) 的城市群几乎被 FBR 偏低值 (0.00–0.05) 覆盖,凸显了高强度不透水面扩张对林地空间的极度挤压;相比之下,东亚地区 (特别是中国) 呈现出“南高北低”的格局,中国南方城市及日本城市受亚热带季风气候及山水城市形态影响,FBR 显著高于华北及西北内陆城市。对于南美、非洲及大洋洲,南美洲沿海及巴西南部城市表现出较高的 FBR;非洲城市整体 FBR 偏低,尤其是北非及撒哈拉以南部分城市,反映出干旱气候基底与缺乏规划的城市蔓延;大洋洲的澳大利亚东/南部沿海及新西兰城市则普遍拥有较高的 FBR 水平。

基于 FBR 10-m 分辨率的空间数据,分别计算 978 个城市的 FBR 经对数转换后的标准差 ($SD_{\ln(FBR)}$),用于衡量城市内部的空间异质性,该指标本质上反映了城市内部绿色生态空间与人工建设空间交互分布的不均衡程度。

总体来看,全球 978 个城市的 $SD_{\ln(FBR)}$,同 FBR 的空间格局存在一定程度上的一致性。高异质性区域 ($SD_{\ln(FBR)} \geq 0.36$) 集中出现在特定的经济体或地理区位中;而低异质性区域 ($SD_{\ln(FBR)} \leq 0.05$) 则大面积连片出现于部分发展中国家及干旱气候区。这一格局表明,全球城市内部绿化分布的公平性与均衡性存在巨大鸿沟。

通过对比不同大洲与国家的空间分布,结合图 1,可识别出几种典型的城市内部景观

异质性模式。首先是以南亚、中东为代表的“低总量-低异质”的均质生态匮乏区。印度次大陆、中东及北非干旱区的多数城市，在图 1 中处于 FBR 极低值（0.00–0.05），同时在图 2 中也表现出极低的标准差（ ≤ 0.05 ）。这种双低特征意味着这些城市不仅整体缺乏林地，而且这种林地缺乏现象在整个建成区内是高度均质化的。其次是以北美、拉美部分城市、中国偏南部城市为代表的“高总量-高异质”的空间极化区。美国东半部、东南沿海以及南美洲沿海城市群（如巴西）和中国南部、东南沿海城市，在图 1 中普遍拥有较高的 FBR 绝对值（ ≥ 0.26 ），显示出优越的森林本底；但在图 2 中，这些城市同样呈现出较高的空间异质性（ $SD_{\ln(FBR)} \geq 0.36$ ）。这种耦合模式深刻揭示了城市内部空间的正义问题。此外，还有以东亚、中国北方城市为代表的“中低总量-高异质”区和以欧洲高纬度及部分大洋洲城市为代表的“高总量-中低异质”区。

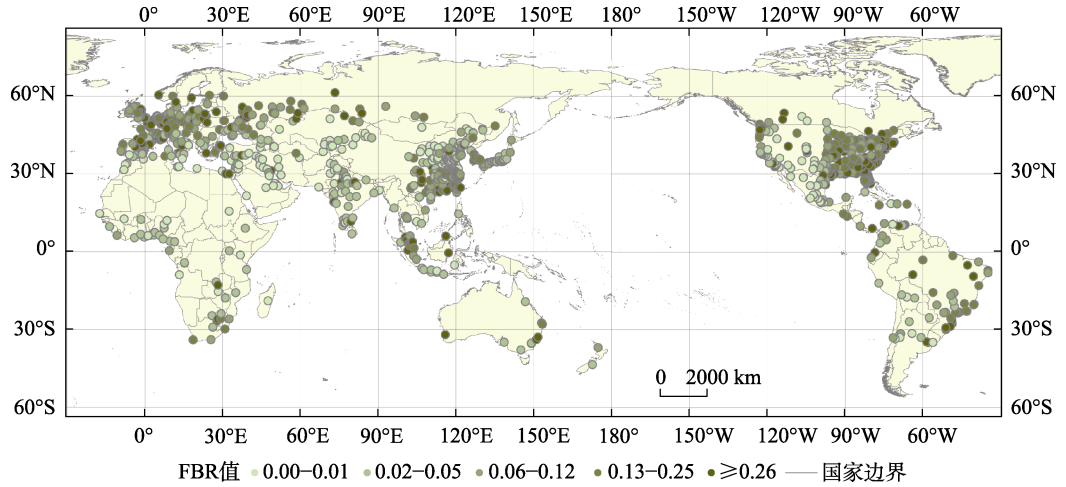


图 1 全球 978 个城市建成区内 FBR 空间分布图
（参照审图号为 GS(2016)2948 号的标准地图制作）

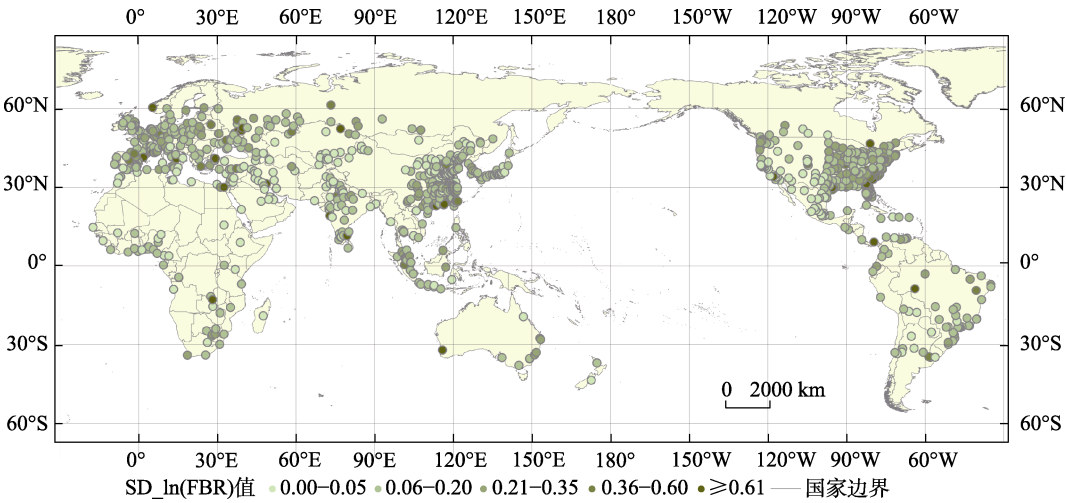


图 2 全球 978 个城市建成区 FBR 空间异质性分布图
（参照审图号为 GS(2016)2948 号的标准地图制作）

5 讨论和总结

本研究构建了全球城市林地-人造地表面积比率 (FBR), 该指标基于 10-m 分辨率土地利用数据, 采用 1-km 滑动窗口测算, 实现两方面提升: (1) 由绝对数量表征转向相对关系刻画, FBR 聚焦林地与人造地表的配比结构, 更精准反映城市人地系统中生态空间与建设空间的交互与权衡关系。(2) 由城市整体均值下沉至像元精细尺度, 可同时表征林地规模与空间异质性, 为城市类型划分与格局解析提供数据支撑。数据结果表明, 全球城市林地分布以“高总量-高异质”的空间极化区、“低总量-低异质”的均质生态匮乏区为主导。

尽管本数据集在设计与处理上力求严谨, 但仍存在以下局限性: (1) 时间一致性。数据集的核心因变量基于 2023 年的土地利用数据, 而城市边界数据基准年为 2018 年, 二者存在时相差异。需要说明的是, 该版本的城市边界数据是在数据研发时全球范围内公开发表的最新且应用最为广泛的版本^[17-20], 本研究采用该数据是为了与主流研究保持可比性与一致性。(2) 本数据集受 2023 年 ESRI 10-m 分辨率土地利用产品精度的影响, 存在误差传递。ESRI 10-m 分辨率土地利用产品是在数据研发时可用于大尺度土地利用研究的最高分辨率全球覆盖数据产品。为了证明该数据产品的可靠性, 本研究基于 978 个全球城市边界, 分别在林地与不透水面空间范围内各随机布设 100 个验证样本点。精度检验结果显示, 分类总体精度达 85% 以上, 错分样本多分布于对应地类边缘区域, 该现象主要受空间分辨率制约所致。该数据集支持了作者资源与环境硕理学硕士学位论文的完成。

作者分工: 赵丽凤进行了总体设计、数据收集和处理、数据可视化、论文撰写、格式排版; 田莉进行了总体设计、数据收集、内容审查与修改; 杨阳进行了数据收集和处理; 王振波进行了总体设计。

致谢: 作者谨向刘闯研究员、石瑞香副编致以最诚挚的谢意。感谢其在数据集修改过程中给予的宝贵学术指导与方向把控。两位专家在数据集计算方法和分类方法的优化、数据集的科学性验证、科学问题的凝练等关键节点提出的建设性意见对提升本研究的质量与严谨性起到了至关重要的作用。作者对两位专家的远见卓识与无私帮助深表谢忱。

利益冲突声明: 本研究不存在研究者以及与公开研究成果有关的利益冲突。

参考文献

- [1] Zhou, Y., Wang, J. The composition and assembly of soil microbial communities differ across vegetation cover types of urban green spaces [J]. *Sustainability*, 2023, 15(17): 13105.
- [2] Zhou, Z., Fang, P., Dong, L., et al. Urban vegetation types and bryophyte diversity: why woodlands matter [J]. *Journal of Forestry Research*, 2025, 36(1): 65.
- [3] Nowak, D., Greenfield, E. The increase of impervious cover and decrease of tree cover within urban areas globally (2012–2017) [J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2020, 49: 126638.
- [4] Meineke, E., Youngsteadt, E., Dunn, R., et al. Urban warming reduces aboveground carbon storage [J].

- Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*, 2016, 283(1840): 20161574.
- [5] Vogt, M. Refined wilding and urban forests: conceptual guidance for a more significant urban green space type [J]. *Forests*, 2025, 16(7): 1087.
- [6] Chen, T., Singh, V., Zhang, S., *et al.* A city-scale mapping tool for assessing effects of urban greenery and morphologies on thermal comfort: a case study in Singapore [J]. *Building and Environment*, 2026, 287: 113760.
- [7] Xiao, L., Mokhtar, N., Sulaiman, M., *et al.* Enhancing urban sustainability through green infrastructure: spatiotemporal analysis of green space and forest coverage in Sichuan (2002–2022) [J]. *Sustainability*, 2025, 17(11): 5135.
- [8] Muhoza, J., Zhou, W. Urban land expansion and spatiotemporal dynamics of urban green spaces in Africa [J]. *Sustainability*, 2025, 17(7): 2880.
- [9] Chen, R., Cui, X., Lei, Y. Coordination analysis of urban forest and urban development level: a case study of the Yangtze River Delta Urban Agglomeration, China [J]. *Sustainability*, 2023, 15(20): 15165.
- [10] Cobbinah, P., Asibey, M., Azumah, A. Urban forest and the question of planning-sustainability inadequacy [J]. *Cities*, 2023, 140: 104453.
- [11] 王亚男, 周正广, 朱文浩等. 城市化强度对城市森林景观格局的影响[J] *山东林业科技*. 2021, 51(5): 29–35+48.
- [12] 钟嘉琳, 李心, 刘玮等. 南昌城市化强度对森林植被特征和景观格局指数的影响[J] *生态学杂志*. 2024, 43(8): 2285–2294.
- [13] 赵丽凤, 田莉, 杨阳等. 全球城市 FBR 10-m 栅格数据集 (2023) [J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2025. <https://doi.org/10.3974/geodb.2025.11.06.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2025.11.06.V1>.
- [14] 全球变化科学研究数据出版系统. 全球变化科学研究数据共享政策[OL]. <https://doi.org/10.3974/dp.policy.2014.05> (2017 年更新).
- [15] Li, X., Gong, P., Zhou, Y., *et al.* Mapping global urban boundaries from the global artificial impervious area (GAIA) data [J]. *Environmental Research Letters*, 2020, 15(9): 094044.
- [16] Chen, B., Wu, S., Song, Y., *et al.* Contrasting inequality in human exposure to greenspace between cities of Global North and Global South [J]. *Nature Communications*, 2022, 13(1): 4636.
- [17] Li, Y., Svenning, J., Zhou, W., *et al.* Green spaces provide substantial but unequal urban cooling globally [J]. *Nature Communications*, 2024, 15(1): 7108.
- [18] Wei, L., Liu, Z., Zhou, Y., *et al.* Global urban green spaces in the functional urban areas: spatial pattern, drivers and size hierarchy [J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2025, 107: 128770.
- [19] Bille, R., Jensen, K., Buitenwerf, R. Global patterns in urban green space are strongly linked to human development and population density [J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2023, 86: 127980.
- [20] Wu, S., Chen, B., Webster, C., *et al.* Improved human greenspace exposure equality during 21st century urbanization [J]. *Nature Communications*, 2023, 14(1): 6460.