城市自然解决方案的空间配置与受益公平

雷雅涵*

云南轻纺职业学院，云南 昆明 650300

摘 要：城市自然解决方案能够通过生态过程缓解高温和雨洪压力，其规划价值还取决于服务能否到达需要保护的居民。本文综合城市降温、雨洪调节和绿色空间公平研究，分析生态功能、空间连通与受益分配之间的关系。研究认为，降温与雨洪调节具有不同的作用尺度，多功能空间需要依据水文联系、植被条件和居民活动组织，面积增长不足以表征适应成效。风险暴露、空间可达性与居住稳定性共同影响居民获得收益的机会，建设优先级应将高风险和服务不足地区相互叠合，并保留生态可行性与维护条件的约束。进一步提出，以服务路径确定干预范围，将日常维护、极端事件应对和居民参与纳入规划全过程，使生态改善与居民持续受益形成可追踪的联系。

关键词：基于自然的解决方案；城市适应；空间配置；生态系统服务；环境公平

Spatial Planning and Equitable Benefits of Urban Nature-Based Solutions

LEI Yahan*

Yunnan Light And Textile Industry Vocational College, Kunming, Yunnan 650300

Abstract: Urban nature-based solutions can alleviate heat and stormwater pressures through ecological processes, but their planning value also depends on whether services reach residents who need protection. This article synthesizes research on urban cooling, stormwater regulation, and greenspace equity to examine the relationships among ecological functions, spatial connections, and benefit distribution. Cooling and stormwater regulation operate at different spatial scales, requiring multifunctional spaces to be configured according to hydrological connections, vegetation conditions, and residents' activities. Additional green area alone does not adequately represent adaptation outcomes. Exposure, accessibility, and residential stability shape opportunities to benefit. Intervention priorities should combine high risk with service deficits while retaining ecological feasibility and maintenance constraints. Planning around service pathways and incorporating routine maintenance, extreme-event responses, and resident participation can establish traceable connections between ecological improvement and sustained benefits for urban residents.

Keywords: nature-based solutions; urban adaptation; spatial planning; ecosystem services; environmental equity

DOI：https://doi.org/10.65192/hdyngw56

© 2026 作者

本文依据 CC BY 4.0 许可协议开放获取

1 引言

城市高温与内涝发生在具体空间中：居民在无遮阴道路上通行，雨水沿不透水地表汇入低洼街区。绿色空间可以通过遮阴、蒸散、入渗和蓄滞改变这些过程，但新增面积与居民获得保护之间还存在空间联系。一个远离日常步行路径的公园，能够改善局地环境，却可能无法缓解通勤过程中的暴露。设置在错误汇流位置的设施，也可能难以接收需要调蓄的径流。

基于自然的解决方案以保护、管理和恢复生态系统回应社会问题，并同时关注生物多样性和人的福祉。Seddon 等强调，应将这一概念放在生态保护和气候行动的关系中理解，避免以单一目标替代生态系统的完整功能[1]。对于城市规划，问题因而从“增加多少绿色空间”进一步转向“通过何种生态过程，在何处改变风险，并由谁获得收益”。

Raymond 等关于城市自然解决方案协同收益的研究，将效益识别、实施和评价相互连接[2]。协同收益涉及多种服务，但不同服务具有不同作用尺度和受益条件。降温可能主要发生在树冠和周边活动空间，雨洪调节则取决于上游汇水、下游排放和设施间的连接。若将所有效益直接汇入一个综合得分，具体空间关系及其取舍容易被掩盖。

作者简介：雷雅涵（1988—），女，硕士，助教，经济师，主要研究方向为经济管理，区域经济史，中国史。
通讯作者：雷雅涵，电子邮箱：3283382774@qq.com

本文从空间规划角度分析城市自然解决方案的配置与受益公平。研究采用文献综合，围绕降温、雨洪调节及绿色空间分配的相关研究，比较服务产生、服务到达和居民持续受益三个环节。理论讨论以城市社会与生态过程的相互联系为基础，重点考察干预范围、建设优先级和长期维护如何影响适应成效。

2 生态过程与空间尺度

2.1 降温服务与居民活动的联系

Li 等利用遥感资料分析全球主要城市绿色空间的降温，发现城市间降温能力存在明显差异，并将其与绿色空间数量和质量联系起来[3]。这一研究说明，绿化具有可观的空间调节作用，但同样面积的绿色空间并不对应相同降温。背景气候、城市形态及植被状态影响效能，城市内部的空间位置则进一步影响服务所覆盖的人群。

树木降温主要通过遮阴和蒸散实现。Haiwei Li 等综合不同城市研究，讨论背景气候、城市形态和树木性状对降温效能的影响[4]。遮阴能够直接改变人在活动空间中接受的辐射，蒸散则与供水和植被生理状态有关。规划因此需要同时考虑树冠与活动空间的对应、土壤与水分条件，以及建筑布局对空气交换的影响。

降温评价应将测量对象与规划目标相连。遥感地表温度反映表面状态，近地气温反映空气环境，人体热感受还与辐射、湿度、风速和活动有关。若目标是缓解户外通行暴露，步行路线的遮阴连续性和使用时段就具有直接意义。城市平均地表温度下降能够说明环境变化，却仍需结合居民活动位置判断谁获得了改善。

大型公园与街道绿化承担的作用不同。公园能够提供相对完整的生态空间和集中休憩环境，街道树冠则与日常通勤、候车和接送活动联系更紧密。对服务不足的密集街区，仅增加远端公园可能难以改变居民必须经过的暴露路段。空间规划应将集中绿地和分散遮阴组织为可使用的网络，使居民从住宅到公共设施的路径能够获得连续服务。

2.2 雨洪调节依赖汇流与排放关系

雨水花园、下凹绿地和绿色屋顶可以改变径流形成与传输，但其调节能力受到土壤、设施容积、前期含水状态和降雨过程影响。Neumann 等通过地表与管网耦合模型比较分散自然措施，发现减轻洪涝的作用随降雨强度和配置方式变化[5]。规划评价需要将设施配置纳入汇水系统，考察径流传输与蓄滞的共同作用。

汇水位置决定设施能够处理多少径流。上游设施可能减少进入管网的水量，低洼空间则可能承担临时蓄滞；两者通过地形、道路和排水系统连接。若只按可用土地布置设施，而不考虑水从何处来、向何处去，设施可能无法承担预期功能。自然措施的干预边界应沿水文联系确定，行政边界则主要用于组织实施责任。

在强降雨中，入渗和蓄滞可能达到容量限制。规划需要预留超过设施能力之后的流路，将安全排放、道路通行和重点设施保护衔接起来。自然措施与排水管网、泵站及应急空间应组成连续系统。即使日常降雨下可以较多保留径流，极端事件仍需按照相应情景判断水深、持续时间及溢流去向。

雨洪调节与日常使用还存在时间差异。平时可休憩的下凹空间在降雨期间承担蓄滞，使用规则和事件后的恢复便成为规划的一部分。维护通道、积水警示与淤积清理影响空间能否持续发挥功能。将维护作为建成后的附属工作，会使设施的设计容量与实际可用容量逐渐脱离。

2.3 多功能空间中的协同与取舍

降温、雨洪调节与生境营造可以在同一空间发生，但其关系需要根据具体过程判断。增加植被能够提供遮阴和蒸散，也需要足够生长空间与供水；扩大蓄滞容积有利于调节径流，却可能改变日常活动布局。某些生境需要减少干扰，而高频公共活动需要更便捷的进入和管理。多功能规划需要确定空间内部如何分配这些需求。

黄馨等将城市社会与生态系统的理论和分析框架进行整合，强调多尺度关系以及脆弱性、韧性和适应性之间的联系[6]。这一视角使多功能空间超出设施清单：生态过程与居民活动相互影响，空间形态与制度安排共同决定功能能否维持。因此，生态质量、公共使用和维护能力需要在规划阶段同时考虑。

建设时序也影响协同。树冠形成需要时间，雨洪设施的部分作用则在完成接入后即可发生。建成当年的验收应依据实际树冠与植被状态评价降温，成熟期收益则对应后续成长阶段。规划可区分近期可实现的服务和植被成长后的服务，并在成长期间提供必要的遮阴和使用安排。这样，空间的预期功能才能与居民实际经历相互对应。

2.4 干预尺度与服务外溢

地块是建设和产权管理的常见单位，生态服务却可能跨越地块边界。上游绿地调节径流，其受益对象可以位于下游；街道树冠提供遮阴，其使用者也包括不在该街区居住的通勤者。若评价只统计建设地块内部的变化，跨界服务和外部负担便容易遗漏。规划应分别识别建设范围、过程影响范围和居民使用范围，再判断三者如何连接。

不同目标的尺度也可能相互嵌套。单个树池影响植被生长与入渗，连续街道影响步行路径，多个汇水单元共同影响下游流路。设施在较小尺度上的良好表现，需要通过空间连接才能进入更大尺度的结果。黄馨等所讨论的多尺度社会与生态关系，为识别这些联系提供了分析基础[6]。对于同一街区，可先沿主要服务路径检查关键断点，再决定哪些局部设施需要补充或调整。

图 1 将生态过程与居民受益之间的空间联系展开。降温路径依次联系树冠和水分条件、遮阴与蒸散、居民活动空间；雨洪路径联系土壤与蓄滞条件、入渗和径流调节、受保护的道路与设施。居民获得的服务还受开放条件、空间可达性与居住稳定性影响。规划和维护同时作用于这些联系，因此生态改善与受益公平需要在同一空间过程中考察。

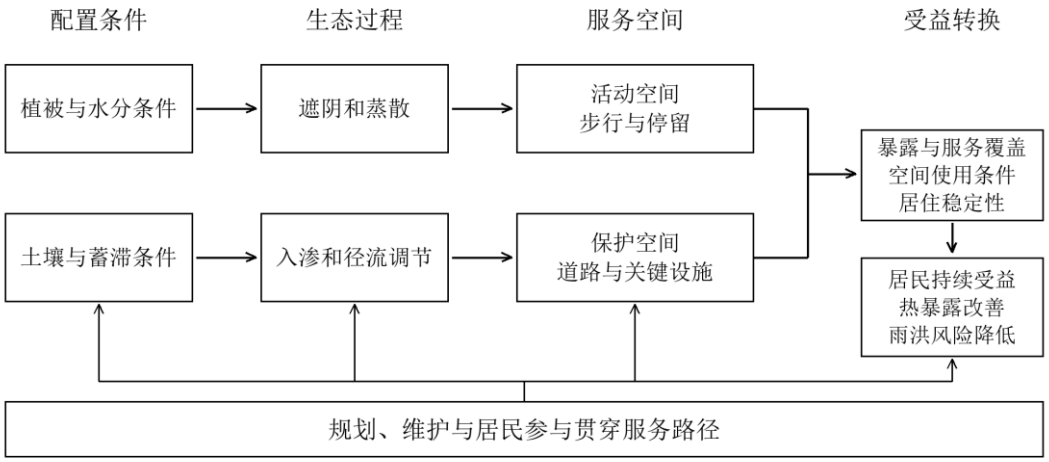


图 1 从生态过程到居民受益的空间联系

服务外溢也改变了协作范围。承担绿地维护的主体与获得下游保护的主体可能不同，若费用与责任只在建设地块内部安排，持续维护便缺少相应支持。跨界协作可以围绕共享的服务目标组织，将贡献位置与受益位置连接起来。这样，生态功能的空间范围与管理责任的范围才有机会相互匹配。

3 谁能持续获得生态改善

3.1 风险暴露与服务供给的错位

环境公平首先涉及不同居民承担的风险与获得的服务是否相称。高温暴露、绿地不足和较弱的应对能力可能集中在同一街区，城市平均绿化水平难以显示这种叠合。Wolch 等将绿色空间、公

共健康和环境正义联系起来，讨论改善环境与维护居民受益之间的关系[7]。服务缺口需要在居民所处生活环境中识别，结合街区风险、日常活动和现有服务判断配置需求。

配置优先级可以从风险暴露与现有服务的交叉识别开始。高暴露且服务不足的地区具有较强改善需求，随后还需核对可用空间、生态条件与设施连接。老年人、儿童和户外劳动者等群体的活动时间与位置不同，若以常住人口均匀分配需求，可能遗漏白天的实际使用。需求识别应结合人口分布、活动场所与时间，定位不同群体的服务需求。

3.2 可达性连接空间与使用

绿色空间靠近住宅并不总意味着居民能够使用。交通障碍、出入口、开放时段和步行环境都影响可达性。对行动不便的人群，过街距离和坡度可能比直线距离更关键。服务范围应沿实际可进入的路线确定，并观察途中是否存在无遮阴、积水或无障碍设施中断。

空间内部条件进一步影响使用。遮阴主要覆盖草地而缺少可停留设施，或降温较好的区域在日常时段不开放，都可能使供给与需求脱节。居民参与在此提供的是具体使用知识：在哪里候车、何时通行、哪些空间难以进入。这些信息能够修正规划对服务到达的判断，比仅询问居民是否支持绿化更有助于设计。

3.3 居住稳定性影响受益持续性

绿色空间改善还可能与住房和土地市场变化相互作用。Anguelovski 等在北美和欧洲 28 个城市考察新增绿色空间与绅士化的时间联系，在其中 17 个城市发现相应关联[8]。这种联系涉及城市发展路径及住房条件，其关键启示是：生态改善的受益者可能随人口迁移而改变。评价应追踪原有居民能否继续居住和使用空间。

对于租住比例较高的街区，居民持续受益需要与居住稳定安排相衔接。建设之前可以识别租赁负担、土地更新和搬迁压力，实施中将住房部门、社区组织及空间管理者纳入协调。土地增值与居民获得降温或休憩服务属于不同结果，二者应分别观察。将环境改善与居住成本变化放在一起分析，有助于识别收益是否到达原先承担较高风险的人群。

空间使用规则也可能改变受益分配。大型活动占用、收费项目扩大或管理方式改变，会减少原有日常使用机会。因而，公平不仅是初始选址的属性，也取决于运行期间的管理。公共空间服务对象、开放条件和反馈渠道需要长期保持可核对，居民的使用经验应能够进入管理调整。

3.4 居民参与与受益需求的识别

参与过程影响哪些需求能够进入方案。工作时间固定的居民、承担照护的人群和行动不便者，参加集中活动的机会不同。仅统计参加人数，难以判断意见是否覆盖主要使用群体。规划可以结合路径观察、不同时间的访谈和可持续的反馈渠道，了解居民日常暴露与使用障碍，再将这些资料与生态和工程调查相互核对。

居民意见需要对应可判断的空间问题。希望增加绿色空间，可以进一步联系候车点是否缺少遮阴、学校通行是否绕行、雨后哪一段道路难以使用。具体问题能够进入设计，也便于建成后观察是否得到改善。若意见只汇总为满意度，原本需要处理的地点和时段便可能丢失。参与的实际作用在于补充专业调查不容易获得的使用知识。

不同群体之间也可能存在真实取舍。安静休憩、生境保护与高频活动需要不同空间安排，连续遮阴和公共活动场地也可能争用有限土地。规划应保留这些差异，说明方案怎样分配空间，以及哪些需求通过相邻设施或时间安排得到满足。将取舍具体呈现，比要求所有群体对同一方案作总体赞成更有助于形成可持续的使用规则。

4 以服务路径组织规划与维护

4.1 将适应目标转化为配置顺序

不同适应目标要求不同配置。缓解通勤高温需要联系连续步行路径和高频活动节点，减少内涝损失需要联系汇水过程和受保护对象，恢复生境则需要考虑生态连通及干扰。规划可先确定主要风险和服务对象，再定位生态过程能够介入的位置，随后协调多种功能。这样形成的空间范围，可能跨越地块或行政界线，但能够保持清楚的服务联系。

徐琳琳等对国外自然解决方案研究的梳理，将蓝绿基础设施、生态恢复和参与式规划治理列为重要议题[9]。从这些研究转向本地配置，需要明确城市已有空间和管理条件。存量街区受土地和管线约束，可以优先修复现有树冠、打通使用路径及改善关键汇水位置；新开发地区则有机会在道路与排水系统形成之前统筹空间。两类地区具有不同干预起点。

表 1 给出从适应目标到规划判断的对应关系。表中各项应分别保留，因为较高降温效能无法抵消不可达的公共空间，较大蓄滞容积也无法抵消不安全的溢流路径。规划方案可在满足必要约束以后比较资源投入和改善范围，将取舍交给明确的目标和公共讨论。

表 1 适应目标与空间配置的对应

适应目标	空间判断	运行与受益检查
缓解户外高温	树冠与活动节点及通行路径相连	高温时段的遮阴、可进入性与使用
减少内涝损失	汇水、蓄滞和安全排放形成连续系统	事件容量、溢流去向与恢复
保持生态质量	生境、土壤与植被条件相匹配	植被成长、维护及活动干扰
改善受益公平	风险暴露与服务不足地区叠合	不同群体可达性与居住稳定性

4.2 从建设验收到长期生态过程

IUCN 在 2025 年发布第二版自然解决方案全球标准，强化生态、社会和经济维度的联系，并进一步强调公平、保障措施、财务可行性和适应性管理[10]。这些要求指向同一问题：自然解决方案的功能需要在持续运行中形成，建成面积和初始验收只能描述其中一个阶段。

维护责任应对应生态过程。树木需要生长空间、土壤管理和适当供水，雨洪设施需要清淤及进出水检查，公共空间需要保持可达和日常使用。预算可按成熟期、极端事件后恢复和常规维护分别安排，使责任与需要处理的状态对应。维护人员应能够记录功能变化，并把故障或植被退化反馈至规划和更新部门。

跨部门协调应围绕完整服务路径展开。街道树冠涉及道路、园林和管线管理，蓄滞空间涉及排水、绿化与公共使用。若部门分别以自身资产完好作为目标，服务中断可能发生在接口处。协调机制需要明确接口责任：谁处理入口堵塞，谁调整活动安排，谁在极端事件后决定重新开放。职责清楚才能让空间设计在运行中维持连续性。

4.3 将监测尺度与居民受益相连

监测需要区分空间功能与受益结果。树冠覆盖、土壤状态和设施容积描述生态条件，温度和径流变化描述功能表现，居民暴露、通行和使用则描述服务结果。三类指标之间可以相互解释，但应保留各自计量位置与时间。对降温，应联系高温时段和使用路径；对雨洪，应联系降雨过程与下游对象；对公平，应联系不同群体的服务变化。

一次建设前后比较还可能受到天气、周边开发和人口变化影响。监测可保留季节和事件记录，在可行条件下设置具有相近背景的参照空间，解释变化发生于何种条件。遥感适合观察较大范围的空间差异，地面观测和居民活动资料适合补充日常使用。不同证据的配合能够使生态变化与实际受益之间的联系更加清楚。

规划的适应性体现在依据监测调整配置。若植被成活而居民通行暴露仍高，应检查树冠位置与活动路径；若设施保持完好而下游积水持续，应检查汇流连接和排放条件。评价由此成为定位问题的工具。其目标是让服务路径更完整，并使受益不足的群体进入下一轮调整。

对于受益分配，监测还应保留人口和使用者的变化。一个改造地块的使用量增加，可能来自原居民使用更频繁，也可能来自新的使用者进入。两种变化都具有规划意义，但对于原先服务不足的人群，关键是其获得服务的机会是否改善。将居住、活动和开放条件的变化一起记录，可以使公平评价保持明确的受益对象。

4.4 有限资源下的配置优先序

规划优先序可以先处理不可替代的约束，再比较可改善的范围。需要保护的通行和关键设施、必要的安全流路以及现有高质量生境，构成方案应满足的条件。在这些条件下，进一步比较高暴露人群覆盖、空间连通和长期维护投入。这一顺序将必要约束与预期改善相互联系，为配置优先级提供清楚的判断依据。

对存量街区，修复服务断点可能比孤立增加面积更直接。已有公园难以进入，可以改善出入口和通行连接；连续街道存在少数无遮阴路段，可以结合植被生长条件补齐节点；蓄滞设施难以接收径流，可以调整汇流接口。是否采用这些措施仍取决于现场条件，但判断依据可以始终围绕服务路径保持一致。

项目组合也需要考虑时间。保护成熟树冠能够保留现有服务，新种植需要等待成长，土壤和排水调整则可能先改变雨洪过程。规划可以将保留、修复和新增措施相互配合，使近期服务与长期生态质量衔接。分阶段推进时，每一阶段都应说明居民能够使用的空间及服务，避免建设进度与可获得收益脱离。

资金安排应随这些阶段变化。建设投资确定空间的初始条件，常规维护维持生态过程，事件后恢复保障再次使用。IUCN 第二版标准进一步强调长期财务可行性与适应性管理[10]，意味着预算需要同时支持功能维持和问题修正。将维护及恢复责任落实到服务路径，能够使有限资源持续作用于城市适应目标。

5 结语

城市自然解决方案的适应价值，通过生态过程、空间连接和居民使用共同形成。降温依赖植被与活动环境的匹配，雨洪调节依赖汇水、蓄滞与排放的联系，多功能空间则需要协调不同服务的尺度和时间。规划以具体服务路径确定范围，才能把绿色空间建设转化为可追踪的风险改善。

受益公平需要同时考虑风险暴露、空间可达性和居住稳定性。建设优先级应关注高风险且服务不足地区，并以生态可行性、公共使用和维护条件约束方案。将居民经验、跨部门责任和长期监测纳入规划过程，可以使生态改善与居民持续受益保持联系。

参考文献

[1] SEDDON N, SMITH A, SMITH P, et al. Getting the message right on nature-based solutions to climate change[J]. Global Change Biology, 2021, 27(8): 1518-1546. DOI: 10.1111/gcb.15513.

[2] RAYMOND C M, FRANTZESKAKI N, KABISCH N, et al. A framework for assessing and implementing the co-benefits of nature-based solutions in urban areas[J]. Environmental Science & Policy, 2017, 77: 15-24. DOI: 10.1016/j.envsci.2017.07.008.

[3] LI Y, SVENNING J C, ZHOU W, et al. Green spaces provide substantial but unequal urban cooling globally[J]. Nature Communications, 2024, 15(1): 7108. DOI: 10.1038/s41467-024-51355-0.

[4] LI H, ZHAO Y, WANG C, et al. Cooling efficacy of trees across cities is determined by background climate, urban morphology, and tree trait[J]. Communications Earth & Environment, 2024, 5(1): 754. DOI: 10.1038/s43247-024-01908-4.

[5] NEUMANN J, SCHEID C, DITTMER U. Potential of Decentral Nature-Based Solutions for Mitigation of Pluvial Floods in Urban Areas—A Simulation Study Based on 1D/2D Coupled Modeling[J]. Water, 2024, 16(6): 811. DOI: 10.3390/w16060811.

[6] 黄馨, 韩玲, 赵永华, 等. 城市社会-生态系统研究理论基础与分析框架[J]. 生态学报, 2024, 44(15): 6892-6905. DOI: 10.20103/j.stxb.202310232308.

[7] WOLCH J R, BYRNE J, NEWELL J P. Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities ‘just green enough’[J]. Landscape and Urban Planning, 2014, 125: 234-244. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2014.01.017.
[8] ANGUELOVSKI I, CONNOLLY J J T, COLE H, et al. Green gentrification in European and North American cities[J]. Nature Communications, 2022, 13(1): 3816. DOI: 10.1038/s41467-022-31572-1.
[9] 徐琳琳, 胡文浩, 徐文辉. 国外基于自然的解决方案（NbS）研究进展[J]. 中国城市林业, 2024, 22(3): 176-183. https://cjournal.hep.com.cn/1672-4925/CN/1179775598677107096.
[10] IUCN. IUCN launches the Second Edition of the IUCN Global Standard for Nature-based Solutions[EB/OL]. (2025-10-10)[2026-10-13]. https://iucn.org/press-release/202510/iucn-launches-second-edition-iucn-global-standard-nature-based-solutionstm.