综述

国外基于自然的解决方案（NbS）研究进展

徐琳琳 胡文浩 徐文辉

浙江农林大学风景园林与建筑学院 杭州 311300

摘要：文章基于 CiteSpace 软件和 Web of Science 核心数据库，对国外基于自然的解决方案（NbS）文献进行梳理和分析，以期为该领域研究及其在中国本土化的应用提供参考。结果表明：1）国外 NbS 研究处于快速发展阶段，2016 年后发文量显著提升，研究集中分布在北美、欧洲等地区，欧盟国家汇集了主要的研究机构，但尚未出现具有影响力的学者；2）NbS 的知识研究基础以评估框架研究和实践案例研究为主；3）NbS 研究 5 大热点为城市再生、绿色空间管理、气候适应与变化减缓、海岸韧性以及参与式规划和治理，该领域早期聚焦于与之相关的概念研究，而后转向具体方向领域的实证研究；4）NbS 研究重点为蓝绿基础设施建设、生态系统恢复以及海岸灾害防御 3 大领域。在此基础上，对 NbS 研究提出展望，即未来应重视概念辨析、加强实证研究、注重利益相关者间权衡，以及促进在发展中国家推广。

关键词：基于自然的解决方案；文献计量；研究综述

DOI：10.12169/zgcsly.2022.12.13.0001

Research Progress Abroad in Nature-based Solutions（NbS）

Xu Linlin Hu Wenhao Xu Wenhui

（College of Landscape and Architecture, Zhejiang Agriculture & Forestry University, Hangzhou 311300, China）

Abstract: Using the CiteSpace and Web of Science, the paper reviews literature abroad on nature-based solutions（NbS）, in order to provide references for the research and its localized application in China. The results indicate: 1）The research on NbS abroad is in a rapid development phase, and the number of publications has increased significantly since 2016. The research is concentrated in North America and Europe, among which the research institutions in the EU countries make contribution the most, but there are no influential scholars; 2）The research on NbS mainly consists of assessment framework research and case study; 3）The five hotspots in the research on the NbS are urban renewal, green space management, climate adaptation and climate change mitigation, coastal resilience and participatory planning & governance, and the research shifts its focus from conceptual studies to empirical studies in specific fields; and 4）The NbS research focuses on three study areas, including blue-green infrastructure construction, ecosystem restoration and coastal disaster prevention. On this basis, we propose an outlook for NbS research, i. e., paying attention to concept discrimination, boosting the empirical research, emphasizing the trade-offs among stakeholders, and promoting the NBS in developing countries.

Keywords: nature-based solutions; literature metrology; research review

收稿日期：2022-12-13

* 基金项目：浙江省自然科学基金项目（LGN20C160003）

第一作者：徐琳琳（1997- ），女，硕士生，研究方向为风景园林规划与设计。E-mail：461980524@qq.com

通信作者：徐文辉（1968- ），男，硕士，教授，研究方向为风景园林规划与设计。E-mail：392428985@qq.com

随着工业化与城镇化的快速加剧，城乡空间极大拓展，占用了大量自然生境空间，导致一系列生态问题[1]，使得人类社会面临前所未有的生态环境压力，极大影响了人类福祉与社会的可持续发展。近年来，人们逐渐意识到环境问题成为制约人类发展的关键性限制因子，并开展了一系列生态修复工程。这些工程总体耗资巨大，但由于片面依赖技术手段，未能充分考虑自然生态系统服务功能与生态过程的复杂性，导致实施效果普遍不佳[2]。因此，不少国家政府和世界组织开始重新审视人与自然的关系，致力于从自然中寻求应对各类社会挑战的解决方案。

在此背景下，基于自然的解决方案（Nature-based Solutions，NbS）这一概念应运而生。NbS 最早是 2008 年由世界银行在其发布的报告《生物多样性、气候变化和适应》中提出，指出 NbS 在保护生物多样性、应对气候变化的潜能，但当时该理念还未正式形成。随后在 2015—2016 年，欧盟委员会（European Commission，EC）和世界自然保护联盟（International Union for Conservation of Nature，IUCN）正式提出了 NbS 的概念，并给出了各自的解读。EC 将其定义为“受自然启发、不断得到自然支持和利用自然的解决方案，通过资源高效和适应性的方式应对各种社会挑战，同时提供经济、社会和环境效益”[3]，IUCN 则认为 NbS 是指“保护、可持续管理和恢复自然或改良的生态系统的行动，可以有效和适应性地应对社会挑战，同时提供人类福祉和生物多样性效益”[4]。虽然目前 NbS 尚缺乏一致的界定，但其核心思想都旨在有效利用生态系统及其服务来应对重大社会挑战。NbS 是一种以人为本地实现生态系统服务最大化的全新理念，它的出现标志着人类对自然的态度从资源性利用到对其功能性思考的转变[5]。

如今 NbS 已逐渐受到全球各界的广泛关注，然而作为涵盖一系列基于生态系统方法的伞形概念[6]，NbS 所涉及的领域多样且分散，人们对其的发展方向和研究重点并不了解，迫切需要加强对 NbS 的系统梳理。由于该理念起源于西方国家，且其相关研究成果也较为丰硕，全面了解国外 NbS 研究进展和重点领域对我国 NbS 发展具有现实意义。因此本研究借助 CiteSpace 软件从文献基本特征、知识基础、研究热点和研究重点等方面绘制国外 NbS 研究的知识图谱，以期为国内 NbS 研究提供前瞻性的参考。

1　文献统计方法

本研究以 Web of Science 平台所收录 SCI 源期刊作为文献来源，检索主题为 TS=（“Nature-based Solutions”）OR（“Nature-based Solution”），文献类型仅限于文章和综述，剔除会议摘要、书评等资料。时间跨度为（1985—2022 年），检索日期为 2022 年 6 月 16 日，共得到 1 429 条英文文献记录，剔除不符合主题的文献，最终获得 2014—2022 年发表的 1 033 篇有效文献作为样本数据，运用 CiteSpace（6.1.R2）软件对其进行计量分析和图谱绘制，运用 Excel 软件进行辅助统计分析。

2　文献基本特征

2.1　文献数量特征

如图 1 所示，2014—2022 年，NbS 研究领域的发文量和被引量整体呈上升趋势。尽管早在 2008—2010 年不少国际组织先后提出 NbS 并发布相关报告，但由于该理念在学界尚缺乏共识与研究计划，导致 NbS 在早期并未引起学界重视。学界对 NbS 的研究首次出现于 2014 年，但 2014—2015 年总体发文量较少，且缺乏系统关注。2015—2016 年以来，欧盟给出了 NbS 的定义和主要研究范围，并发表了关于 NbS 领域研究与实践的纲领性文件[3]；2016 年，IUCN 详细阐述了 NbS 的概念和内涵，并提供了 10 个 NbS 案例经验分享[4]，从而推动了 NbS 领域的系统研究，使之得

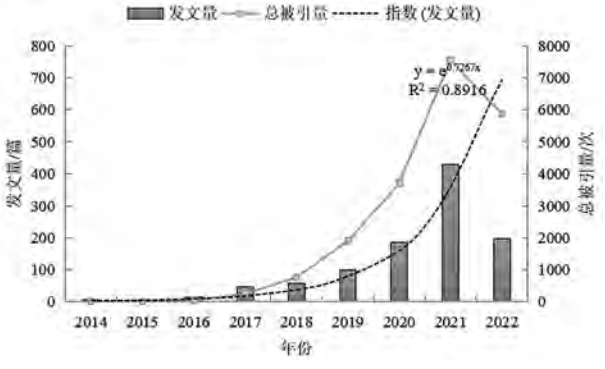


图 1　发文量与被引情况统计数据

到了学界的高度关注。2016 年亦可视为该领域的关键节点，此后文献数量快速增长。后又自 2020 年 IUCN 发布 NbS 全球标准得到世界各国认可起，发文量和被引量呈几何指数显著增长，标志着 NbS 领域正式进入了快速发展期。

2.2 期刊分布

NbS 是多学科交叉的研究领域。据统计，本研究所获取的 NbS 文献涉及了生态环境科学、工程、水资源、林学、地质学和城市研究等方向，其中，生态环境科学为 NbS 研究领域主要的研究方向。这些文献分布在 234 种期刊中，55.56%的期刊只收录了 1 篇 NbS 领域的论文，而收录 10 篇及以上文献的期刊仅占 8.55%。根据文献分散规律（布拉德福定律）计算，NbS 领域发文量排名前 11 的期刊为核心区（图 2），核心区共收录文献 477 篇，占比 45.98%，这些期刊 2022 年平均影响因子为 6.438 ± 2.899，波动较大。其中，*Sustainability* 杂志是目前发表 NbS 相关文章最多的期刊，远超排在第二位的 *Science of The Total Environment*。然而这两大杂志的审稿管理要求在学术界存在一定争议，其期刊论文质量也有待考究。以上情况说明，NbS 领域在国际期刊上分布较为分散，虽已开始出现小规模的期刊群，但期刊质量较不稳定。

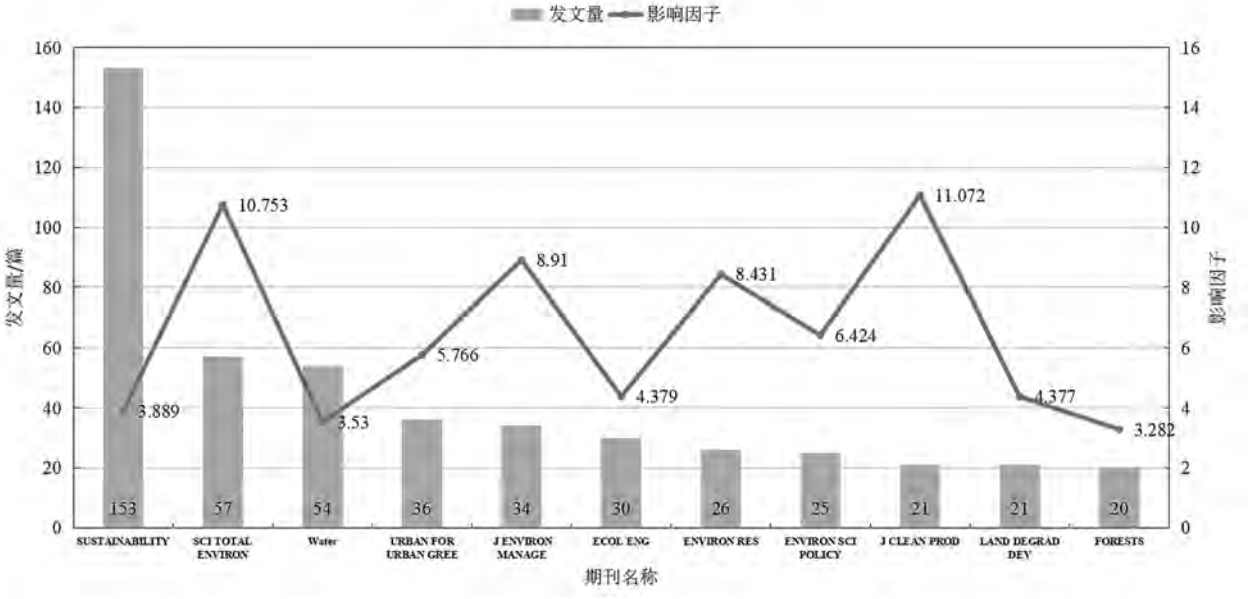


图 2 NbS 领域核心区期刊

2.3 研究国家和机构

NbS 作为全球性议题，基于国际问题的跨国协作是其典型特征。通过国家合作网络分析（图 3），结果共有 112 个节点、878 条连线，密度为 0.141 2。这表明各国间的合作较为紧密，NbS 研究已受到全球各国的广泛关注。总体而言，这些研究主要集中在北美、欧洲、东亚和澳洲地区，并出现了代表领域中重要地位的关键节点。其中研究强度较大的国家依次为美国、英国、意大利、德国、西班牙、荷兰、中国和澳大利亚。结合图中协作年限可以发现，欧美国家由于临近的地理位置在早期就开展了密切合作，但大多数国家间的学术合作在 2018 年后才出现。另外，由机构合作网络分析可知（图 4），高发文量机构和集中性机构均来自欧盟成员国，说明欧盟国家对 NbS 研究高度重视，这可能与 2015 年欧盟明确 2020 地平线研究与创新项目将重点投资 NbS 的相关决定有关。



图 3 国家合作网络图谱



图 4　机构合作网络图谱

2.4　发文作者群

如图 5 所示，大部分学者在 2016 年后开始进行相关研究，其中发文量最多的学者为 Vojinovic（11 篇），主要开展不同尺度下应对洪水风险的 NbS 工程实施成效评估研究[7-8]。考虑到一篇文章中通常具有多位作者，本研究通过普赖斯定律，根据最低发文量 M = 2.48 精简核心作者，共计 96 名，且核心作者撰写的论文占该领域总发文量的 51.8%（≥50%），说明核心作者群已形成，但并未出现高中介中心性节点，这又说明该领域的研究学者虽形成了一定的联系、产生了一些研究团队，但取得的成果并不多，尚未出现该领域具有代表性和影响力的学者。



图 5　作者合作网络图谱

3　研究热点与发展趋势

高频被引文献是构成研究领域的知识基础。这些文献的研究内容分为两种：一是对 NbS 实施成效评估框架的制定。Nesshöver 等[9] 和 Cohen-shacham 等[4,6] 在 NbS 相关概念辨析的基础上提出开发 NbS 有效性的评估框架，随后 Raymond 等[10] 制定了 7 阶段的评估过程指导，包括识别问题、选择与评估相关行动、设计实施流程、实施 NbS、鼓励利益相关者参与、传递与提升 NbS 以及监测与评估各阶段共同效益等内容。二是对 NbS 实践案例的经验总结。Keesstra 等[11] 和 Seddon 等[12] 虽然列举了 NbS 在林地恢复、海岸保护、湿地建设等方面的成功案例，但也表达了对其可靠性和成本效益的担忧，例如使用非本地单一物种造林导致出现适应不良的问题。为此，Frantzeskaki[13] 在案例基础上总结出美学吸引和保护、塑造新的绿色空间、建立信任、共同创造、协作治理、包容性叙述、长期可复制等 7 大经验教训。总体而言，NbS 作为近几年才发展起来的新兴领域，其研究基础仍停留在理论指导阶段，未来还需要开展大规模的实证研究。

3.1　研究热点

研究热点体现了该领域当前引起广泛关注的关键问题，对高频关键词的分析可以探索 NbS 领域的研究热点[14]。本研究以最小生成树算法（MST）生成关键词共现网络发现（表 1），除了 Nature-based Solutions 以外，频率较高的关键词为 Ecosystem Service、Climate Change、Management、City、Green Infrastructure 等，这些高频关键词代表了 NbS 领域各时期的研究热点。其中 Green Infrastructure 是中心性最高的关键词，反映了绿色基础设施在该领域中的重要地位，后文的研究也验证了这一点。本研究结合全球十大社会挑战背景整合目前 5 大关注热点，即城市再生、绿色空间管理、气候适应与变化减缓、海岸韧性以及参与式规划和治理（表 1）。

表 1　NbS 研究高频关键词信息

研究热点	关键词	频次	中心性
城市再生	城市(City)	125	0.13
	设计(Design)	37	0.1
	可持续性(Sustainability)	36	0.12
	径流(Runoff)	36	0.03
	城市化(Urbanization)	29	0.03
	风景园林(Landscape)	27	0.05
	环境(Environment)	26	0.02
	城市规划(Urban Planning)	25	0.07

表 1(续)

研究热点	关键词	频次	中心性
绿色空间管理	生态系统服务(Ecosystem Service)	224	0.01
	管理(Management)	151	0.03
	绿色基础设施(Green Infrastructure)	113	0.25
	植被(Vegetation)	74	0.09
	生物多样性(Biodiversity)	64	0.04
	森林(Forest)	33	0.03
	绿色空间(Green Space)	31	0.06
气候适应与变化减缓	气候变化(Climate Change)	200	0.03
	适应(Adaptation)	39	0.03
	修复(Restoration)	39	0.09
	人工湿地(Constructed Wetland)	39	0.02
海岸韧性	弹性(Resilience)	35	0.01
	海平面上升(Sea Level Rise)	24	0.05
参与式规划和治理	框架(Framework)	74	0.03
	治理(Governance)	56	0.11
	利益(Benefit)	51	0.07
	土地利用(Land use)	30	0.02

3.2 发展趋势

为进一步明确 NbS 热点方向的发展趋势，本研究基于关键词共现网络进行聚类分析，使用 LLR 算法生成关键词聚类时序图（图 6）。聚类分析结果模块值（Q 值）为 0.571 4（>0.3），平均轮廓值（S 值）为 0.826 4（>0.7），说明该聚类的清晰度和网络结构较合理。从时间上来看，NbS 的发展历程较短，一开始的研究主要关注基于生态系统的适应（EbA）等与 NbS 密切相关的概念。之后至今对作为 NbS 重要组成部分的蓝绿基础设施就其在适应气候变化、开展城市双修等方面的成本效益进行评估研究。同时不少学者也在积极探索更多能够应对洪水风险、海岸管理、林地恢复等挑战的 NbS，表明该领域现阶段已由理论研究开始迈向实证研究。另外，值得注意的是，“利益相关者感知”一直贯穿于 NbS 的研究历程，这是因为 NbS 的成功离不开利益相关者的共同创造、共同实施、监督和管理[15]。可以说，利益相关者的参与是 NbS 各阶段实施过程中必不可少的一环。但由于社会文化感知差异导致利益权衡和冲突，因此大量的学者运用多准则分析（MCA）以及贝叶斯信念网络（BBN）模型等工具来平衡并融合各方面的偏好考量[16-17]，以确保 NbS 在实现主要目标的同时提供协同效益。



图 6 NbS 研究关键词聚类时序图

4 研究重点领域

为揭示该领域的研究重点，对 NbS 文献进行引文聚类分析，并采用 LLR 算法提取研究术语作为聚类标签，以表示研究领域。生成的引文聚类网络图谱（图 7）中，聚类模块值（Q 值）为 0.611 4（>0.3），平均轮廓值（S 值）为 0.862 6（>0.7），表明结果具有较高的信服力。由于各聚类所涉及内容存在一定交叉，本研究结合各聚类代表性文献归纳 3 大重点领域范围，即蓝绿基础设施建设、生态系统恢复和海岸灾害防御（表 2）。



图 7 NbS 研究引文聚类网络图谱

4.1 蓝绿基础设施建设

蓝绿基础设施因其展现的成本效益和多重效益而成为 NbS 特定组成部分，并作为其实践的主要实施途径[18]，尤其是面对前文总结的热点问题与挑战，蓝绿基础设施也是 NbS 中最为密切且有效的手段。随着城市化进程的加快和气候变化的预期影响，城市的水文循环遭到破坏，导致雨水径流和局部洪水风险增加，因此不少研究采用绿色屋顶调节城市地表径流、优化水循环性能，以创造弹性的城市空间[19-20]；对于城市化引起的热岛效应，城市绿地中的植被也是缓解该挑战的

表 2　NbS 研究引文聚类信息

研究重点	引文聚类(图 7)	代表性文献	同质性
蓝绿基础设施建设	#0 蓝色基础设施	Mapping the research landscape of nature-based solutions in urbanism	0.777
	#4 植被屋顶(绿色屋顶)	Regulating urban surface runoff through nature-based solutions-an assessment at the micro-scale	0.828
	#8 绿墙	Closing water cycles in the built environment through nature-based solutions: the contribution of vertical greening systems and green roofs	0.930
生态系统恢复	#1 基于生态系统的适应	Nature-based solutions for urban climate change adaptation: linking science, policy, and practice communities for evidence-based decision-making	0.847
	#5 指标、知识差距和障碍	Nature-based solutions to climate change mitigation and adaptation in urban areas: perspectives on indicators, knowledge gaps, barriers, and opportunities for action	0.915
	#9 生物多样性—生产力关系	Informing nature-based climate solutions for the united states with the best-available science	0.976
海岸灾害防御	#2 实践社区	An overview of monitoring methods for assessing the performance of nature-based solutions against natural hazards	0.839
	#3 大规模基于自然的解决方案	An overview of monitoring methods for assessing the performance of nature-based solutions against natural hazards	0.828
	#6 海岸保护	Mapping the effectiveness of nature-based solutions for climate change adaptation	0.936
	#7 基于自然的防洪	Damming deltas: a practice of the past? towards nature-based flood defenses	0.927

NbS 之一，且复杂的植被结构和无管理下的植被群落具有更强的气候调节能力，能够提供更多样的生态系统服务功能[21]；而水体湿地等蓝色基础设施可形成冷岛效应，从而降低城市地表温度[22]；针对环境污染问题，城市森林可以有效去除 PM_{10}，在改善城市空气清洁度的同时带来一定的经济价值[23]。此外，蓝绿基础设施的建设并不局限于解决单一的挑战，以绿墙为例，不仅能够实现城市地区灰水处理和再利用[24]，还具有减少温室气体排放、提升环境质量和缓解城市热岛效应等多重效益[25]。

4.2　生态系统恢复

自然生态系统恢复具有提供气候变化适应规划的潜力。在目前的 NbS 实践中，主要通过管理和改变陆地生态系统，以增加碳封存和减少碳排放等方式来减缓气候变化。林地生态系统是陆地生态系统的主体，林地恢复主要分为植树造林和次生林恢复两种 NbS 途径，其中重新造林虽然能够带来多重协同效益，但对气候缓解的潜力只能实现一小部分[26]；相较而言，次生林具有适应性强、效率高的碳汇功能，大规模的次生林恢复可以提高生物多样性和缓解气候变化[27]。作为最大陆地碳储量的泥炭地生态系统，由于大规模的人为干扰，近年来从净碳汇转化为净二氧化碳源，因此对泥炭地采取保护和复湿成为 NbS 关注重点，即使在极端干旱年份，通过恢复泥炭地也可以使其维持净碳汇功能[28]。然而，在对退化生态系统的恢复过程中，还面临着许多潜在障碍，包括如何协调利益相关者间的知识差距，以及如何确定衡量生态系统恢复实际效益的评估指标等[29]。

4.3　海岸灾害防御

气候变化导致海平面上升和高强度的风暴，加剧了海岸侵蚀和洪水灾害，而过去单一功能的灰色基础设施不足以应对这些挑战，使得沿海地区开始转向侧重生态可持续发展的 NbS，以加强海岸保护与管理。当前研究中，红树林[30]、盐沼[31]、海带床[32]、竹栅栏[33]等 NbS 被认为在衰减海岸波浪、减轻风暴驱动的洪灾风险上发挥着重要作用，并提供栖息地恢复、生物多样性保护等环境服务功能。然而，建造和维护沿海植被成本较高，目前更为普及的是将红树林和潮汐沼泽与软工程相结合的混合方法，这些沿海混合基础设施不仅为洪水和风暴风险提供了具有成本效益的方法，还为恢复红树林和潮汐沼泽等海岸生态系统带来了多种共同效益[34]。另外，为具体评估此类 NbS 减轻自然灾害的能力，往往采取地表测量和遥感观测等多种监测手段，以绘制系统性的证据图[35-37]。

5　研究展望

NbS 概念的提出迄今已有十余年，越来越多的国家开始跻身于 NbS 行动，并取得了一定成果，然而 NbS 尚处于发展阶段，还存在许多不足

之处，比如，由于 CiteSpace 软件在提取和分析信息方面的局限性，需手动合并相同含义不同表达形式的关键词，在一定程度上使得多个聚类标签存在相似的情况（也不排除是 NbS 领域中术语滥用），导致聚类主题边界模糊。据此提出以下研究展望。

1）NbS 应重视与相关概念的辨析，以避免概念的混淆和滥用。由于 NbS 涵盖一系列基于生态系统的方法和工具，涉及多学科多领域范畴，它不能提供“一刀切”的解决方案来应对各类挑战。因此在实践中，NbS 应借助这些方法和工具以既定的组合纳入城市规划领域，推动其在城市中的主流化发展。

2）NbS 应加强实证研究工作。例如，在面对生态环境的具体问题时，要针对既有的 NbS 工程开展进一步的实证研究，评估其具体效益；同时，也要对有潜力的 NbS 进行拓展研究。

3）NbS 应注重不同利益相关者间的潜在权衡，包括城市规划者、专家学者、当地居民、政府及非政府机构等各类群体对生态环境认知的潜在矛盾，促进相关工程的可持续性。

4）NbS 应侧重向发展中国家推广，并从现有案例基础上提炼经验和教训，制定更加明确的标准，从而提升该理念的吸引力。中国作为最大的发展中国家，同时又是 NbS 行动的牵头国之一，应向全球提供更多成功的本土 NbS 实践案例。

参考文献

[1] BRINK E, AALDERS T, ÁDÁM D, et al. Cascades of green: a review of ecosystem-based adaptation in urban areas[J]. Global Environmental Change, 2016, 36: 111-123.

[2] DE VRIEND H, VAN KONINGSVELD M, AARNINKHOF S. 'Building with nature': the new Dutch approach to coastal and river works[J]. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Civil Engineering, 2014, 167(1): 18-24.

[3] MAES J, JACOBS S. Nature-based solutions for Europe's sustainable development[J]. Conservation Letters, 2017, 10(1): 121-124.

[4] COHEN-SHACHAM E, JANZEN C, MAGINNIS S, et al. Nature-based solutions to address global societal challenges[R]. Gland, Switzerland: IUCN, 2016.

[5] 大自然保护协会. 基于自然的解决方案研究与实践[M]. 北京: 中国环境出版集团, 2021.

[6] COHEN-SHACHAM E, ANDRADE A, DALTON J, et al. Core principles for successfully implementing and upscaling Nature-based Solutions[J]. Environmental Science & Policy, 2019, 98: 20-29.

[7] VOJINOVIC Z, ALVES A, GÓMEZ J P, et al. Effectiveness of small-and large-scale Nature-Based Solutions for flood mitigation: the case of Ayutthaya, Thailand[J]. Science of the Total Environment, 2021, 789: 147725.

[8] MUBEEN A, RUANGPAN L, VOJINOVIC Z, et al. Planning and suitability assessment of large-scale nature-based solutions for flood-risk reduction[J]. Water Resources Management, 2021, 35(10): 3063-3081.

[9] NESSHÖVER C, ASSMUTH T, IRVINE K N, et al. The science, policy and practice of nature-based solutions: an interdisciplinary perspective[J]. Science of the Total Environment, 2017, 579: 1215-1227.

[10] 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.

[11] KEESSTRA S, NUNES J, NOVARA A, et al. The superior effect of nature based solutions in land management for enhancing ecosystem services[J]. Science of the Total Environment, 2018, 610/611: 997-1009.

[12] SEDDON N, CHAUSSON A, BERRY P, et al. Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B, Biological Sciences, 2020, 375(1794): 20190120.

[13] FRANTZESKAKI N. Seven lessons for planning nature-based solutions in cities[J]. Environmental Science & Policy, 2019, 93: 101-111.

[14] GUO P, LI Q, GUO H D, et al. A bibliometric and visual analysis of global urban resilience research in 2011-2020: development and hotspots[J]. Sustainability, 2021, 14(1): 229.

[15] FERREIRA V, BARREIRA A P, LOURES L, et al. Stakeholders' perceptions of appropriate nature-based solutions in the urban context[J]. Journal of Environmental Management, 2021, 298: 113502.

[16] RUANGPAN L, VOJINOVIC Z, PLAVŠIĆ J, et al. Incorporating stakeholders' preferences into a multi-criteria framework for planning large-scale Nature-Based Solutions[J]. Ambio, 2021, 50(8): 1514-1531.

[17] FORIO M A E, BURDON F J, DE TROYER N, et al. A Bayesian Belief Network learning tool integrates multi-scale effects of riparian buffers on stream invertebrates[J]. Science of the Total Environment, 2022, 810: 152146.

[18] LI L, CHESHMEHZANGI A, CHAN F K S, et al. Mapping the research landscape of nature-based solutions in urbanism[J].

Sustainability, 2021, 13(7): 3876.

[19] ZÖLCH T, HENZE L, KEILHOLZ P, et al. Regulating urban surface runoff through nature-based solutions – an assessment at the micro-scale[J]. Environmental Research, 2017, 157: 135-144.

[20] SÁNCHEZ-ALMODÓVAR E, OLCINA-CANTOS J, MARTI-TALAVERA J. Adaptation strategies for flooding risk from rainfall events in southeast Spain: case studies from the bajo segura, Alicante[J]. Water, 2022, 14(2): 146.

[21] VIEIRA J, MATOS P, MEXIA T, et al. Green spaces are not all the same for the provision of air purification and climate regulation services: The case of urban parks[J]. Environmental Research, 2018, 160: 306-313.

[22] WU C Y, LI J X, WANG C F, et al. Understanding the relationship between urban blue infrastructure and land surface temperature[J]. Science of the Total Environment, 2019, 694: 133742.

[23] MARANDO F, SALVATORI E, FUSARO L, et al. Removal of PM_{10} by forests as a nature-based solution for air quality improvement in the metropolitan city of Rome[J]. Forests, 2016, 7(7): 150.

[24] LAKHO F H, VERGOTE J, KHAN H I U H, et al. Total value wall: Full scale demonstration of a green wall for grey water treatment and recycling[J]. Journal of Environmental Management, 2021, 298: 113489.

[25] REYHANI M, SANTOLINI E, TORREGGIANI D, et al. Assessing the environmental performance of plastic-based and felt-based green wall systems in a life-cycle perspective[J]. Science of the Total Environment, 2022, 822: 153648.

[26] ZENG Y W, SARIRA T V, CARRASCO L R, et al. Economic and social constraints on reforestation for climate mitigation in Southeast Asia[J]. Nature Climate Change, 2020, 10: 842-844.

[27] SMITH C C, HEALEY J R, BERENGUER E, et al. Old-growth forest loss and secondary forest recovery across Amazonian countries[J]. Environmental Research Letters, 2021, 16(8): 085009.

[28] BEYER F, JANSEN F, JURASINSKI G, et al. Drought years in peatland rewetting: rapid vegetation succession can maintain the net CO_2 sink function[J]. Biogeosciences, 2021, 18(3): 917-935.

[29] FRANTZESKAKI N, MCPHEARSON T, COLLIER M J, et al. Nature-based solutions for urban climate change adaptation: linking science, policy, and practice communities for evidence-based decision-making[J]. BioScience, 2019, 69(6): 455-466.

[30] VAN WESENBEECK B K, WOLTERS G, ANTOLÍNEZ J AA, et al. Wave attenuation through forests under extreme conditions[J]. Scientific Reports, 2022, 12(1): 1884.

[31] FAIRCHILD T P, BENNETT W G, SMITH G, et al. Coastal wetlands mitigate storm flooding and associated costs in estuaries[J]. Environmental Research Letters, 2021, 16(7): 074034.

[32] MORRIS R L, GRAHAM T D J, KELVIN J, et al. Kelp beds as coastal protection: Wave attenuation of Ecklonia radiata in a shallow coastal bay[J]. Annals of Botany, 2020, 125(2): 235-246.

[33] MAZA M, LARA J L, LOSADA I J. Predicting the evolution of coastal protection service with mangrove forest age[J]. Coastal Engineering, 2021, 168: 103922.

[34] WARYSZAK P, GAVOILLE A, WHITT AA, et al. Combining gray and green infrastructure to improve coastal resilience: Lessons learnt from hybrid flood defenses[J]. Coastal Engineering Journal, 2021, 63(3): 335-350.

[35] KUMAR P, DEBELE S E, SAHANI J, et al. An overview of monitoring methods for assessing the performance of nature-based solutions against natural hazards[J]. Earth-Science Reviews, 2021, 217: 103603.

[36] CHAUSSON A, TURNER B, SEDDON D, et al. Mapping the effectiveness of nature-based solutions for climate change adaptation[J]. Global Change Biology, 2020, 26(11): 6134-6155.

[37] VAN WESENBEECK B K, MULDER J P M, MARCHAND M, et al. Damming deltas: a practice of the past? Towards nature-based flood defenses[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2014, 140: 1-6.