

DOI: 10.5846/stxb201812042648

刘佳坤, 齐涛, 赵宇, 林美霞, 邢莉, 李新虎, 张国钦, 叶红. 面向城市可持续发展的自然解决途径(NBSs)研究进展. 生态学报, 2019, 39(16): 6040–6050.
Liu J K, Lin T, Zhao Y, Lin M X, Xing L, Li X H, Zhang G Q, Ye H. Research progress on Nature-Based Solutions towards urban sustainable development. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(16): 6040–6050.

面向城市可持续发展的自然解决途径(NBSs)研究进展

刘佳坤^{1,2}, 齐涛^{1,2,*}, 赵宇^{1,2}, 林美霞^{1,2}, 邢莉³, 李新虎¹, 张国钦¹, 叶红¹

1 中国科学院城市环境研究所, 城市环境与健康重点实验室, 厦门 361021

2 中国科学院大学, 北京 100049

3 厦门大学环境与生态学院, 厦门 361005

摘要: 自然解决途径(NBSs)是近几年生态学应用研究的热点,其理念是综合考虑经济、环境和社会效益,引入自然生态系统服务功能用来修复、恢复甚至提升城市生态基础设施水平,进而解决城市面临的可持续发展挑战。自然解决途径的提出为生态设计注入了新鲜的血液,提供了新的视野和技术方法。基于 VOSviewer 文献计量分析软件对城市自然解决途径研究的热点关键词、主要研究国家、机构以及全球分布进行了综合分析。结果发现:(1) 2015 年至 2018 年有关城市 NBSs 的研究论文逐渐增多,覆盖 6 大洲(欧洲、北美洲、亚洲、南美洲、大洋洲、非洲),多数案例是对已有实施工程中采用的可以归纳为自然解决途径的某些方法或者经验的总结凝练;(2) 与城市 NBSs 相关研究热点从高到低主要涉及生态系统服务、绿色基础设施、气候变化、人群健康与福祉;(3) 城市自然解决途径研究的主要力量主要聚集在欧洲,目前中国对于 NBSs 研究仍处于初期起步阶段。将有助于促进自然解决途径研究及实践在中国的发展,同时为城市生态设计和可持续发展提供新视野和新技术。

关键词: 自然解决途径(NBSs); 生态系统服务; 城市; 可持续发展; 生态设计

Research progress on Nature-Based Solutions towards urban sustainable development

LIU Jiakun^{1,2}, LIN Tao^{1,2,*}, ZHAO Yu^{1,2}, LIN Meixia^{1,2}, XING Li³, LI Xinhui¹, ZHANG Guoqin¹, YE Hong¹

1 Key Laboratory of Urban Environment and Health, Institute of Urban Environment, Chinese Academy of Sciences, Xiamen 361021, China

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 School of Environment and Ecology, Xiamen University, Xiamen 361005, China

Abstract: In recent years, Nature-based solutions (NBSs) have been a focus of applied ecological research. The concept of NBSs comprehensively considers the economic, environmental and societal benefits, as well as to introduce ecosystem services to repair, restore, and promote the urban ecological infrastructure, so as to address the sustainable development challenges faced by cities. More importantly, the NBSs approach provides a new vision, technical methods, and fresh perspective on ecological design. This study analyzes the key words, major research countries, universities, and institutions synthetically by the VOSviewer software, and maps the global distribution of case studies of NBSs through a comprehensive literature review. The results showed that: 1) the number of articles related to NBSs in cities increased significantly from 2015 to 2018, and the case study areas covered six continents (Europe, North America, Asia, South America, Oceania, and Africa), while most of the cases were a summary of methods or practices that can be summarized as NBSs in existing

基金项目: 国家自然科学基金项目(41771573); 国家重点研发计划(2016YFC0502702)

收稿日期: 2018-12-04; 修订日期: 2019-05-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ltin@iue.ac.cn

<http://www.ecologica.cn>

projects; 2) research hotspots (from high to low) related to NBSs in cities mainly involved ecosystem service , green infrastructure , climate change , human health and well-being; and 3) at present , most NBSs research occurs in Europe , while China is still in the initial stage. The study presented in this paper was conducted to promote the research and practice of NBSs in China , with additional benefits to provide a fresh vision and theoretical basis for city ecological design and sustainable development.

Key Words: Nature-based solutions (NBS) ; ecosystem services; urban areas; sustainable development; ecology design

进入 21 世纪 ,全世界居住在城市的人口超过一半且呈上升趋势 ,城市维持着全球上绝大部分经济生产活动和机构的运转^[1]。然而 ,气候灾害(例如: 暴风雨、极端气候)、食品安全、水资源管理和人群健康等问题正逐渐成为城市实现可持续发展的重要 ,甚至主要挑战^[2-3]。传统抵御自然灾害的人造工程尽管成本巨大 ,但是效果其实并不理想 ,甚至会造成更大负面效应^[4]。近年来 ,生态系统服务功能的优点被广泛的证实 ,也越来越受到科学和决策层的重视^[5-10]。因此部分国家政府和世界组织机构开始通过学术科研 ,从大自然中寻求缓解城市生态环境压力以及工业化引起的社会经济问题的解决途径^[11]。国际自然保护联盟(IUCN) 经过内部专家讨论曾于 2002 年提出了 NBSs(Nature-based Solutions) 的术语 ,但该理念并未正式形成和提出; 2015 年以欧盟委员会为核心组织的多学科专家团队正式以政策的形式提出了自然解决途径(Nature-based Solutions , NBSs) 的概念 ,指“来源于自然并依托于自然的解决途径 ,通过高效利用资源且具有较强适应性的方式来应对多样化的挑战 ,并确保同时带来经济、社会和环境效益^[8]”。同年 ,欧盟提出基于自然解决途径来实现以下四个目标: (1) 可持续城市化、(2) 修复退化的生态系统、(3) 缓解和应对气候变化、(4) 提高风险管理和生态恢复力^[11]。

自然解决途径的概念非凭空而生 ,在很大程度上是从已有的概念中发展而来 ,尤其是生态系统服务^[12]和蓝绿基础设施^[13] ,其他还涉及自然农业系统^[14]、生态工程^[15]、天然保水措施^[16]、生态系统管理^[17]、恢复力^[16]等。从某种程度上来说 ,自然解决途径是一种创新的生态设计理念 ,从设计的层面强化生态意识 ,在满足人类发展生存的基础上 ,运用生态设计达到人与自然和谐共处、资源可持续利用的目的^[18-19]。两者都基于自然具有为人类生活和生产活动提供生态系统服务的功能^[5-6, 20-21]。但传统生态设计虽然重视对生态系统服务功能的融合 ,并不将其作为主导 ,缺乏对生态学原理和智慧的充分理解和运用 ,以及对实现途径的经济性考量; 而自然解决途径则强调通过发挥自然生态系统自身服务功能 ,实现经济、环境和社会更加可持续的解决方案。Keesstra 等^[22]人将 NBSs 与传统工程设计对比的优势总结为三个: (1) 充分利用而不是改造和对抗自然力; (2) 低经济成本 ,适用于财力有限的地区; (3) 寻求实现多种效益的综合 ,而不是强调单个功能。简而言之 ,自然解决途径是一种基于生态学智慧的更有效和更具有成本效益的解决措施。

作为人类文明创造和传承的主要栖息地 ,城市是实现可持续发展的主要场地 ,目前全球可持续发展面临的主要挑战也集中在城市之中 ,且当代城市发展越来越强调生态设计 ,通过建设“绿色”景观代替“灰色”景观 ,从而恢复当地生态系统服务功能 ,实现富有弹性(Resilience) 的生态系统和健康社会。目前中国知网(China National Knowledge Infrastructure , CNKI) 数据库中未有与自然解决途径研究相关的文献 ,Web of Science 数据库中由中国作者发表的与 NBSs 相关的英文文献也仅有 10 篇(截止于 2018 年 12 月 31 日)。基于此 ,本文首次对“自然解决途径”全球范围内的研究进行文献回顾和文献计量分析 ,通过对城市自然解决途径的实例研究、热点研究关键词及主要研究力量进行调查分析 ,以期促进自然解决途径研究及实践在中国的发展 ,同时为城市生态设计和可持续发展提供新视野和新技术。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

Web of Science 数据库是美国科学情报研究所(Institute for Scientific Information , ISI) 开发的引文数据库 ,

<http://www.ecologica.cn>

其收录的文献涉及学科多涵盖范围广,且收录了世界范围内具有重大影响力的科研成果,Web of Science 引文数据库是目前全世界提供文献回溯数据最强大的数据库。本研究使用的数据来源于 Web of Science 数据库,数据采集时间为截止 2018 年 12 月 31 日。文献检索过程中以“NBS or nature-based solution or nature-based solutions”作为主题检索的基本检索条件,同时以“urban or city or cities”作为主题检索的限制条件,以所有年份(1864—2018)的检索结果作为最终数据来源,共检索得到 187 篇文献,其中来自于 Web of Science 核心数据库的文献有 154 篇。为确保 Web of Science 核心数据库中检索到的文献均为与自然解决途径相关的文章,对检索到的数据进行数据清洗,剔除其中发表年限较早的与物理和化学领域研究相关的文献(其涉及的 NBS 多指国家标准局(National Bureau of Standards))和部分与医学研究领域相关的文献(其涉及的 NBS 多指新生儿血点(newborn blood spot)),仅 85 篇文献的研究内容与城市领域的自然解决途径确切相关,以此作为最终数据源。

1.2 研究方法

文献计量法是科学研究和情报学研究常用的方法之一。利用文献计量法,可以了解某学科领域的发展方向与动态^[23],在城市领域的研究中也有着广泛的应用^[24-27]。VOSviewer 是由 Nees Jan van Eck 和 Ludo Waltman 开发的用于文献计量分析的可视化软件,基于文献共引和共被引原理^[28],从整体把握研究对象探索整个领域的研究主题^[29]。本研究利用 VOSviewer 软件,对自然解决途径研究的热点话题、主要参与国和主要机构等进行文献可视化分析。

2 城市自然解决途径研究文献计量分析

2.1 文献回顾分析

通过文献回顾分析可以发现,欧盟是自然解决途径这一概念的正式提出者和相关措施推广实施的主要推动者。NBSs 的概念提出后,2015 年至 2018 年间有关城市 NBSs 的研究论文逐渐增多(图 1)。2015 年仅有 1 篇文献的研究主题与城市领域的 NBSs 相关。2016 年增加到 14 篇,其中 4 篇论文从生态系统服务的角度对基于自然方式的解决途径进行探讨,3 篇文章从应对气候变化的视野对 NBSs 进行了研究讨论,余下 7 篇文献中有 6 篇文章以城市中的绿色基础设施和自然生态基础设施为切入点,对 NBSs 进行研究。2017 年有关城市 NBSs 研究的文章数量增加到 34 篇,其中涉及健康和人类福祉的研究论文占 23.53%,关注气候变化和自然解决途径文章的占比为 23.53%,以绿色基础设施和生态

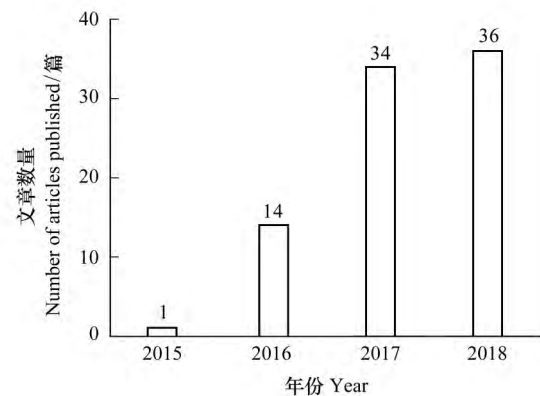


图 1 2015—2018 年间各年份发表的与城市 NBSs 相关的文章的数量

Fig.1 The number of papers related to NBSs in cities published from 2015 to 2018

系统服务为焦点对 NBSs 进行研究的文章占 50%,另有少许文章从公共政策和社会适应力的角度对 NBSs 进行研究。2018 年共有 36 篇文献的研究主题与 NBSs 相关,其中超过一半的文献(52.78%)是对 NBSs 的具体实证研究,16.67%的文章为对 NBSs 降低风险灾害以及进行海岸带防护的研究,部分文献(13.89%)将政策与管理体制同 NBSs 相结合进行探索,少数文章提出在 NBSs 中应该强调利益相关者和市场公司作用。

2.2 自然解决途径在全球范围的实施

对经过数据清洗后的文章进行整理,列出文献中涉及的案例研究地(图 2)。85 篇文献中共选择 114 个案例研究城市、地区或国家对 NBSs 进行研究探讨,共涉及 47 个国家,占全球国家和地区总数的 20.98%。从目前所发表的文献来看,不同案例地区对 NBSs 应用研究的深度有明显的差异,多数案例是对已有实施工程中采用的可以归纳为自然解决途径的某些方法或者经验的总结凝练,例如 Morris 等^[30]对美国 38 个海岸带防护

案例进行了对比总结,把其中利用红树林、盐沼、海草、贝类礁石等基于自然方式的修复措施归为自然解决途径; van der Jagt 等^[31]对欧盟 5 个成员国的城市社区花园进行了比较研究,指出城市社区花园能够为居民提供娱乐休闲、接触自然和种植健康食物的场所和机会,是建设弹性城市的有效自然解决途径; Shafray 和 Kim^[32]以首尔为案例研究地,通过对清溪川生态改造工程、首尔路自然环境修复工程以及小型社区花园修建工程的回顾研究,将融入自然生态要素的修复改造工程认为是提高城市空间再生力的重要自然解决途径。其中,真正面向城市 NBSs 系统性研发案例比较少,如 Versini 等^[33]以巴黎为案例研究地,得出城市蓝绿基础设施可以减少约 90% 的暴雨径流量,蓝绿基础设施可以作为城市减少暴雨径流的有效自然解决途径; Rafael 等^[34]选择波尔图典型的建成区作为研究对象,得出“绿色”城区与“灰色”城区相比,自然解决途径能够减少约 19% 的氮氧化物和 16% 的 PM₁₀。本文获取的 114 个案例城市、地区和国家中,基于城市尺度的案例研究地共 72 个,主要分布于 5 个大洲(欧洲、北美洲、亚洲、南美洲、大洋洲),其中绝大部分案例研究地位于欧洲地区,9.72% 的案例研究城市位于亚洲,美洲占 8.33%,大洋洲仅有澳大利亚的墨尔本被选作案例城市对 NBSs 进行研究。作为 NBSs 研究对象的 47 个国家中有 26 个国家位于欧洲地区,占总数的 55.32%;美洲有 10 个国家(21.28%);亚洲有 9 个国家,分别为中国、韩国、越南、蒙古、孟加拉、菲律宾、缅甸、新加坡和日本;非洲和大洋洲各一个国家,分别为南非和澳大利亚。涉及案例研究城市最多的国家是西班牙,共有 24 个城市作为 NBSs 的研究对象;瑞典 7 个,居第二位;英国 6 个,排第三;中国共有 4 个城市(北京、上海、重庆、嘉义)和一个地区(东部地区)参与 NBSs 的研究和探索;德国、罗马尼亚和意大利各有 3 个城市被选作案例研究地对 NBSs 进行研究。从整体情况来看,目前欧洲是自然解决途径研究和实践的主战场,其次亚洲和美洲国家作为案例研究地参与到自然解决途径研究和实施的战略之中,亚洲主要以中国为代表,目前非洲仅有少数国家或者城市被选作案例研究地对自然解决途径进行案例研究。

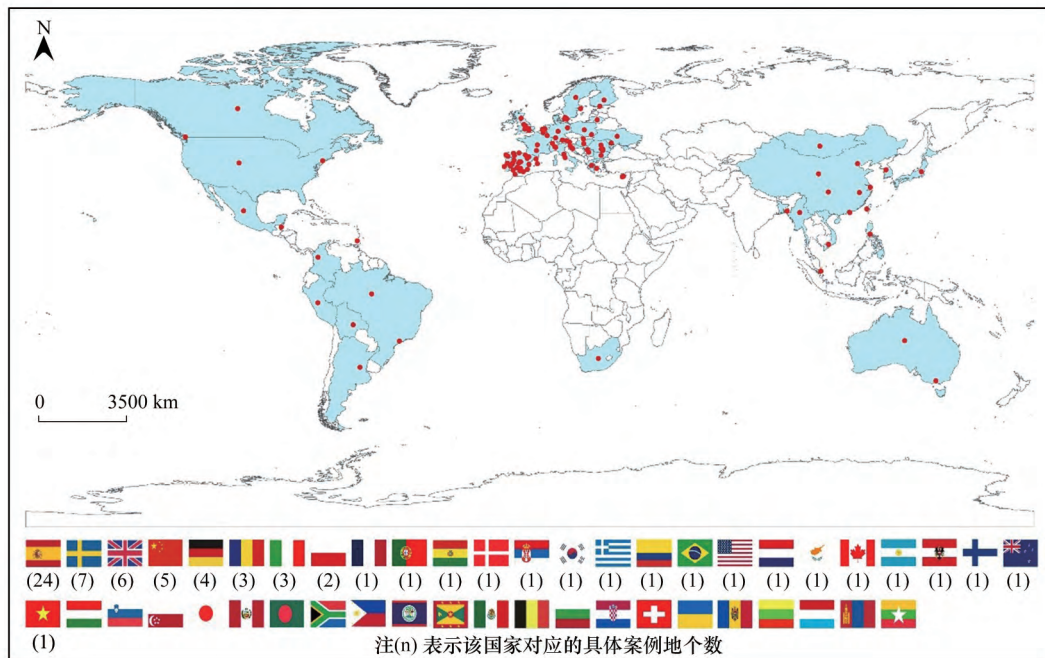


图 2 城市领域 NBSs 案例研究地的全球分布

Fig.2 Global distribution of case studies of NBSs research in urban area

2.3 研究热点关键词分析

对清洗后的数据进行处理,利用 VOSviewer 软件进行可视化分析。85 篇文献中共记录 796 个关键词,选取其中出现频次不小于 5 次的关键词进行分析,共记录 27 个。VOSviewer 软件将城市 NBSs 相关研究的关键词自动归纳为 4 个族群,并用不同的颜色以示区分,表征不同研究热点之间的关联性(图 3)。蓝色族群类关

关键词主要包括生态系统服务、自然解决途径、气候变化和健康,表征当前城市 NBSs 主要是和生态系统服务以及气候变化相关,同时也关注健康和可持续发展。红色族群类关键词主要有生物多样性、管理和弹性,说明 NBSs 中关于生物多样性的研究多涉及系统框架的治理与管理,同时注重弹性保护。绿色族群类关键词主要为绿色基础设施、区域和人类健康,表明 NBSs 研究中区域绿色基础设施较为广泛的联系到人类健康和环境污染,同时也涉及城市规划与服务。黄色族群类中的主要关键词为城市、影响、效益和利益,说明城市尺度范围的系统研究多考虑 NBSs 带来的影响及其利益绩效。

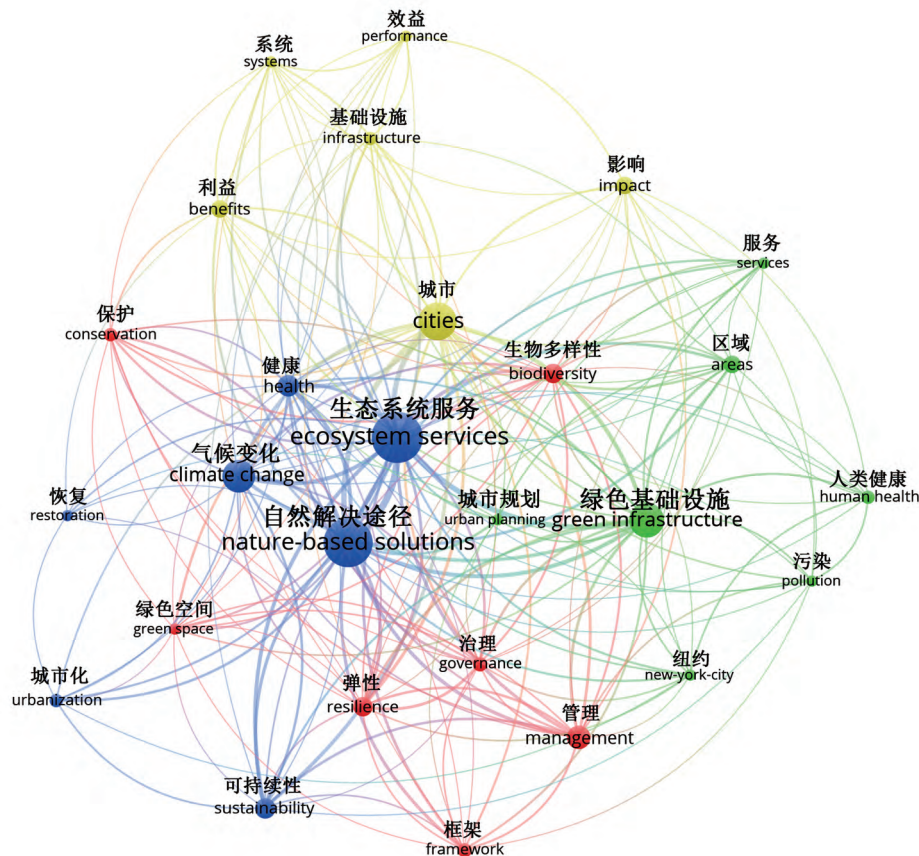


图3 城市领域 NBSs 研究关键词网络图

Fig.3 key words network of NBSs research in urban area

排名前 20 的关键词如表 1 所示(含等频词),其中出现频率超过 20 次的有 5 个,10—20 次之间的有 5 个,其余各关键词的出现频率均小于 10 次。根据关键词出现频率的高低,本文将 NBSs 相关研究热点分为四类,其中出现频率最高的是生态系统服务,代表性的工作包括: Camps-Calvet^[35] 和 Langemeyer 等^[36] 人对巴塞罗那 27 个城市园林的生态系统服务(共涉及生态系统产品、生态调节功能、栖息地支持和社会文化服务 4 个方面)进行研究,发现城市园林提供的社会文化服务价值最高,且老年人、低收入群体和移民是最大受益者,认为城市园林将成为应对城市政策挑战和环境管理的重要自然解决途径; Laforteza 等^[37] 评估了生态系统服务在不同空间和实践尺度上的权衡和协同作用,指出生态系统服务应与高效的 NBSs 相结合。Kremer 等^[38] 人通过对欧洲和美国 7 个案例城市生物多样性和生态系统服务的比较研究,提出 NBSs 研究需要跨部门、跨学科,并在多尺度上开展,能够为城市和土地管理提供坚实的科学依据。第 2 类高频词为绿色基础设施,代表性的工作包括: Rafael^[34] 以波尔图典型的城市建成区为研究对象,发现城市中的绿色基础设施能够有效的降低空气污染物中氮氧化物和 PM₁₀ 的浓度,认为 NBSs 能够有效的改善空气质量促进城市环境的可持续性; Liqueste 等^[39] 对马焦雷湖周边地区多功能绿色基础设施提供的环境、社会和经济效益进行评估,认为绿色基

基础设施在水净化和防洪方面 相比灰色基础设施而言具有相等甚至更好的效益; Green 等^[40] 通过对温哥华和伦敦典型案例的研究, 认为投资绿色基础设施可以增加生态系统的服务价值, 降低其脆弱性以及减少应对气候和环境变化的成本。气候变化是第 3 类出现频率较高的热点词汇, 代表性的工作包括: Fink^[41] 从生态系统服务的角度阐述了 NBSs 在城市应对及适应气候变化的重要性, 认为 NBSs 有利于增进人类健康和福祉, 同时也能够缓解城市碳排并增强城市可持续性; Zimmermann 等^[42] 人通过对阿根廷罗萨里奥在 4 个不同场景下洪水径流系数的研究, 认为改善城市绿色基础设施能够有效应对气候变化引起的洪灾; Kabisch 等^[16] 人建立了评估 NBSs 有效性的指标, 并探索了 NBSs 的现有障碍和潜在机会, 认为 NBSs 是缓解气候变化的有效工具。第 4 类热点词汇是人类健康与福祉, 代表性的工作包括: Vujcic 等^[43] 人通过跨学科联合研究城市自然生态环境与人类心理健康的联系, 发现 NBSs(园艺疗法) 能有效的帮助参与者改善压力、抑郁和焦虑等状况。Van den Bosch 和 Sang^[44] 对 NBSs 与城市人群生理健康的联系进行了研究, 发现基于自然方式的解决途径能够调节与心血管疾病相关的死亡率, 有益于城市人群公共健康。

表 1 城市领域 NBSs 研究中具有较强连接关系的关键词

Table 1 Keywords with strong total link of NBSs research in urban area

关键词 Keyword	出现频率 Occurrences	总联系强度 Total link strength	关键词 Keyword	出现频率 Occurrences	总联系强度 Total link strength
生态系统服务 Ecosystem services	39	142	区域 Areas	9	33
自然解决途径 Nature-based solutions	37	136	利益 Benefits	9	24
城市 Cities	26	111	影响 Impact	9	19
绿色基础设施 Green infrastructure	23	87	治理 Governance	7	45
气候变化 Climate change	21	60	框架 Framework	7	32
管理 Management	13	54	保护 Conservation	6	28
健康 Health	12	49	基础设施 Infrastructure	6	23
可持续性 Sustainability	11	47	城市化 Urbanization	6	17
弹性 Resilience	10	50	人类健康 Human health	6	14
生物多样性 Biodiversity	10	46	绿色空间 Green space	5	27

2.4 研究力量分析

2.4.1 主要研究国家

本文通过文献计量法分析参与 NBSs 研究的主要国家, 发文数量排前 20 的国家如表 2 所示, 其中 6 个国家的发文数量超过 10 篇, 11 个国家超过 5 篇。至 2018 年止, 共有 47 个国家参与到自然解决途径的研究领域中(图 4)。意大利在该领域中发表文章数量最多(17 篇); 瑞典发文数量居第二位(16 篇); 其次为美国(14 篇)、德国(13 篇)、荷兰(11 篇)和中国(10 篇)。发文年份最早的国家为奥地利(2015 年); 德国、英国、美国、挪威、比利时的平均发文年份为 2016 年; 2017 年初发文较多的国家主要是瑞典、荷兰、瑞士、意大利和西班牙; 中国、葡萄牙、苏格兰和澳大利亚是 2017 年下半年发表与自然解决途径相关文章的主要国家; 2018 年发表与自然解决途径相关文章的国家有立陶宛。意大利、瑞典、美国、德国和荷兰在国家合作关系网络图谱中较为醒目, 其发文数量均在 10 篇以上。瑞典的发文数量和文献被引次数均排第二, 德国累计发文数量 13 篇位居第四, 但其总被引次数排名第一。从所发表文章的被引用次数来看, 被引次数超过 50 次的有 7 个国家(德国、瑞典、荷兰、奥地利、美国、意大利、比利时), 意大利的发文数量虽然居第一, 但其文献被引次数远远落后于德国和瑞典。中国的发文数量与荷兰仅相差 1 篇, 但中国所发文章的被引次数却远远落后于荷兰; 奥地利的发文数量不及荷兰的一半, 但其所发表文章的被引次数却相差不大(表 2)。

2.4.2 主要研究机构

所发表的与城市自然解决途径相关的文章共涉及 233 个机构, 其中 148 个机构之间存在合作联系(图 5)。但各个机构发文的数量并不高, 现有发文数量不少于 5 篇的机构共有 5 个, 分别是巴里大学(7 篇)、密歇

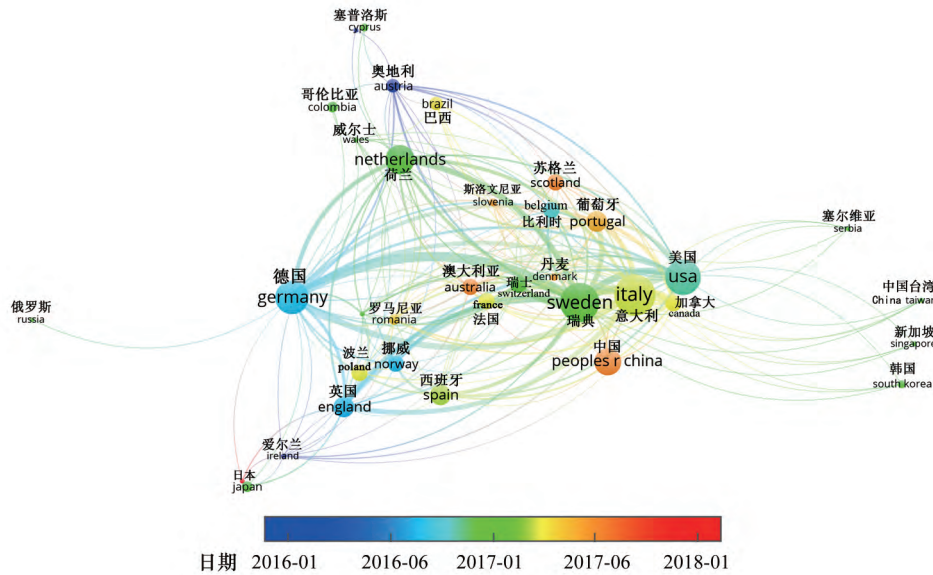


图 4 城市领域 NBSs 研究中涉及的国家(地区)合作网络图谱

Fig.4 Map of national (province) cooperation networks of NBSs research in urban area

表 2 NBSs 研究领域中文发表文章数量前 20 的国家

Table 2 Top 20 countries for article published in NBSs research field

国家 Country	文章数 Documents	被引次数 Citations	总联系强度 Total link strength	国家 Country	文章数 Documents	被引次数 Citations	总联系强度 Total link strength
意大利 Italy	17	59	139	瑞士 Switzerland	5	38	35
瑞典 Sweden	16	114	160	比利时 Belgium	5	54	30
美国 USA	14	59	100	挪威 Norway	5	42	24
德国 Germany	13	125	112	法国 France	5	24	23
荷兰 Netherlands	11	86	69	澳大利亚 Australian	5	7	22
中国 China	10	4	14	苏格兰 Scotland	5	1	18
葡萄牙 Portugal	7	26	70	波兰 Poland	5	23	10
英国 UK	7	47	65	奥地利 Austria	4	71	29
西班牙 Spain	7	44	30	巴西 Brazil	4	5	10
加拿大 Canada	5	17	100	罗马尼亚 Romania	3	6	26

根州立大学(7篇)、斯德哥摩尔大学(6篇)、慕尼黑理工大学(5篇)、巴塞罗那自治大学(5篇)。发文数量排名前20的机构中,有18家机构位于欧洲国家,仅密歇根州立大学和英属哥伦比亚大学位于北美洲。德国共有4所科研学术机构的发文数量位于前20名,分别是柏林洪堡大学、慕尼黑理工大学、赫尔姆霍尔茨环境研究中心和德国综合生物多样性研究中心,其中慕尼黑理工大学和柏林洪堡大学的发文数分别为5篇和4篇,文献被引用次数分别为70次和52次;赫尔姆霍尔茨环境研究中心和德国综合生物多样性研究中心的发文数量分别为3篇和2篇,文献被引用次数均为46次(表3)。相比于其他科研机构所发文章的被引次数,德国目前在自然解决途径研究领域拥有较大的影响力。此外,荷兰的伊拉斯姆斯大学、巴塞罗那自治大学、瑞典斯德哥尔摩大学、挪威自然研究所、挪威生命科学大学所发文章的被引次数也相对较高。中国对NBSs研究的起步时间较晚,目前所发文章的被引次数整体较低;目前共有17所大学和科研机构参与自然解决途径的研究,其中6所高校位于中国香港,其余高校分别位于北京(北京林业大学、中国林业科学院)、上海(上海交通大学、上海师范大学)、南京(东南大学)、浙江(浙江大学)、深圳(南方科技大学)、山东(山东大学)和重庆(重庆大学)。香港大学、香港教育大学和香港理工大学参与发表的文章数最多(共计6篇),且其被引次数也最高。

从发文机构的关系网络图谱中可以看出 2015 年的发文机构主要是以环境保护和观察中心(CRIOBE) 为代表。赫尔姆霍茨环境研究中心和德国综合生物多样性研究中心是 2016 年上半年发表与自然解决途径相关文献的主要机构; 2016 下半年对自然解决途径研究的主要科研阵地则转移到慕尼黑理工大学、挪威自然研究所、柏林洪堡大学、欧盟委员会和斯德哥尔摩大学等学术机构。2017 年, 以密歇根州立大学、罗兹大学、隆德大学、里斯本大学、英属哥伦比亚大学、瑞典农业科学大学和香港大学、香港理工大学等为主的科研学术机构对自然解决途径进行了研究。北京林业大学、瑞典皇家理工学院、上海交通大学和埃武拉大学等研究机构也成为后起之秀, 在 2018 年积极的加入自然解决途径的研究探索之中。

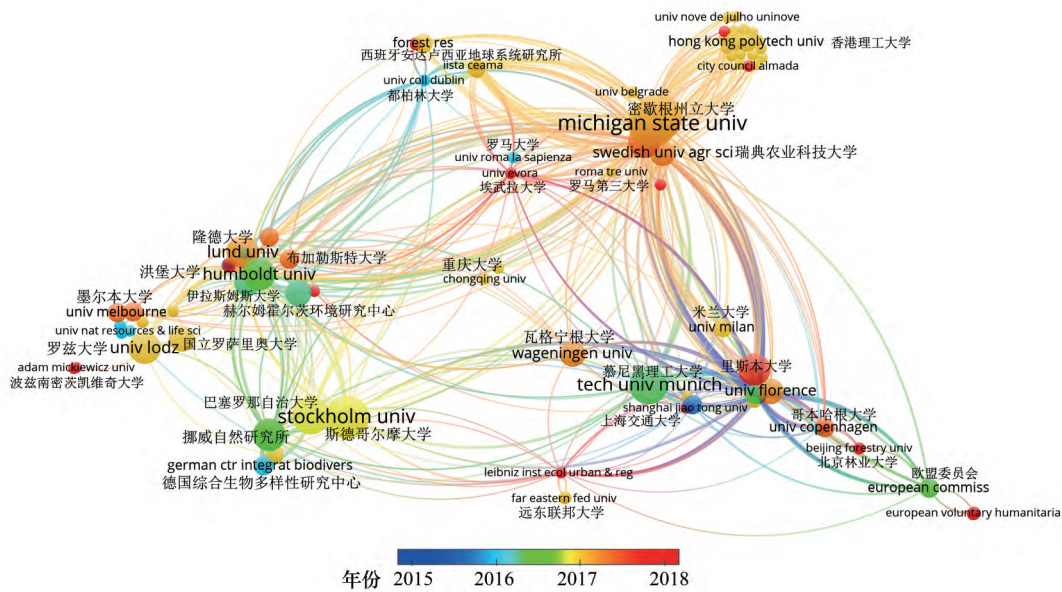


图 5 城市领域 NBSs 研究发文机构关系网络图谱

Fig.5 Network map of the relationship between the organization of NBSs research in urban area

表 3 城市领域 NBSs 研究中发文数量前 20 的机构

Table 3 The top 20 organization of article published of NBSs research in urban area

机构 Organization	文章数 Documents	被引次数 Citations	总联系强度 Total link strength	机构 Organization	文章数 Documents	被引次数 Citations	总联系强度 Total link strength
密歇根州立大学 (Michigan state university)	7	30	140	英属哥伦比亚大学 (University of British Columbia)	4	11	146
巴里大学 (University of Bari Aldo Moro)	7	30	139	里斯本大学 (University of Lisbon)	4	2	27
斯德哥尔摩大学 (Stockholms universitet)	6	42	74	伊拉斯姆斯大学 (Erasmus University)	3	52	35
慕尼黑理工大学 (Technische Universität München)	5	70	56	赫尔姆霍茨环境研究中心 (Helmholtz-Centre for Environmental Research-UFZ)	3	46	24
巴塞罗那自治大学 (Universitat Autònoma de Barcelona)	5	42	46	瑞典农业科技大学 (Swedish University of Agricultural Sciences)	3	10	148
柏林洪堡大学 (Humboldt university)	4	52	52	佛罗伦萨大学 (University of Florence)	3	4	18

续表

机构 Organization	文章数 Documents	被引次数 Citations	总联系强度 Total link strength	机构 Organization	文章数 Documents	被引次数 Citations	总联系强度 Total link strength
挪威自然研究所 (Norwegian Institute for Nature Research)	4	42	43	国立罗萨里奥大学 (Universidad Nacional de Rosario)	3	3	4
挪威生命科学大学 (Norwegian University of Life Sciences)	4	42	43	瓦格宁根大学 (Wageningen University)	3	2	29
瑞典隆德大学 (Lunds universitet)	4	34	18	德国综合生物多样性研究中心 (German Centre for Integrative Biodiversity Research)	2	46	5
罗兹大学 (University of Lodz)	4	23	16	世界自然保护联盟 (International Union for Conservation of Nature)	2	38	31

3 结论与展望

NBSs 是近几年生态学应用研究的热点,其理念是综合考虑经济、环境和社会效益,引入自然生态系统服务功能用来修复、恢复甚至提升城市生态基础设施水平,进而解决城市面临的可持续发展挑战。本文基于 VOSviewer 文献计量分析软件对城市背景下自然解决途径研究的热点关键词、主要研究国家、机构、关键作者,以及自然解决途径案例研究地在全球范围的分布进行了全面的分析。发现:

(1) 欧盟是自然解决途径这一概念的正式提出者和发展的主要推动者。2015 年至 2018 年有关城市 NBSs 的研究论文逐渐增多,从目前来看,多数案例是对已有实施工程中采用的可以归纳为自然解决途径的某些方法或者经验的总结凝练。自然解决途径的案例研究地分布于全球 6 个大洲(欧洲、北美洲、亚洲、南美洲、大洋洲、非洲) 欧洲的案例研究地最多,美洲和亚洲对开展自然解决途径研究和实施的发展潜力巨大。

(2) 根据与城市 NBSs 相关研究热点从高到低主要涉及生态系统服务、绿色基础设施、气候变化、人群健康与福祉。不同研究热点之间相关关联,形成四个族群:生态系统服务、自然解决途径、气候变化和健康,生物多样性、管理和弹性,绿色基础设施、区域和人类健康,城市、影响、效益和利益。

(3) 城市自然解决途径研究的主要力量主要聚集在欧洲地区,其中德国和瑞典目前在城市自然解决途径研究领域占主导地位,目前,中国对于自然解决途径的研究处于初期起步阶段,所发文章的影响力暂时较低,现有研究力量主要集中在香港特别行政区。

自然解决途径的提出为生态设计注入了新鲜的血液,提供了新的视野和技术方法,强调对自然资源的高效利用,降低对自然环境的破坏和影响,从而实现可持续发展,提升城市恢复力和实现城市长久可持续发展的有效措施。自然解决途径的研究与生态设计的发展相辅相成,生态设计可以看作是自然解决途径的实践应用,自然解决途径的研究又能为生态设计提供更多的理论支撑和前沿技术手段。在自然解决途径引起全球学者广泛关注的背景下,中国应该积极的投身自然解决途径研究中,具体实践中结合生态设计的思想和原则以缓解中国城市在快速城市化过程中面临的压力和挑战,从而实现城市的可持续发展,提升人类福祉和共同利益。未来中国应该鼓励和促进相关利益者的介入,促进国内更多的高校和科研学术机构参与其中,提高国内公众对自然解决途径的认知水平。将自然解决途径的思想和生态设计的理念纳入城市规划和管理体系,通过对自然解决途径具体案例的实施和研究为其提供充分有力的科技支撑,并结合更多的案例研究丰富和完善适用于中国的自然解决途径的理论和实践研究体系。

参考文献(References) :

- [1] IPCC. Climate Change 2014: Impacts , Adaptation , and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge , United Kingdom and New York , NY , USA: Cambridge University Press , 2014: 535–612.
- [2] Brink E , Aalders T , Ádám D , Feller R , Henselek Y , Hoffmann A , Ibe K , Matthey-Doret A , Meyer M , Negrut N L , Rau A L , Riewerts B , von Schuckmann L , Törnros S , von Wehrden H , Abson D J , Wamsler C. Cascades of green: a review of ecosystem-based adaptation in urban areas. *Global Environmental Change* , 2016 , 36: 111–123.
- [3] Wamsler C. *Cities , Disaster Risk and Adaptation: Routledge Critical Introductions to Urbanism and the City*. London: Routledge , 2014.
- [4] de Vriend H , van Koningsveld M , Aarminkhof S. ‘Building with nature’: the new Dutch approach to coastal and river works. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Civil Engineering* , 2014 , 167(1) : 18–24.
- [5] Kabisch N , van den Bosch M , Laforteza R. The health benefits of nature-based solutions to urbanization challenges for children and the elderly –A systematic review. *Environmental Research* , 2017 , 159: 362–373.
- [6] Raymond C M , Berry P , Breil M , Nita M R , Kabisch N , de Bel M , Enzi V , Frantzeskaki N , Geneletti D , Cardinaletti M , Lovinger L , Basnou C , Monteiro A , Robrecht H , Sgrigna G , Munari L , Calfapietra C. An Impact Evaluation Framework to Support Planning and Evaluation of Nature-based Solutions Projects. Wallingford , United Kingdom: Centre for Ecology & Hydrology , 2017.
- [7] Elmqvist T , Setälä H , Handel S N , van der Ploeg S , Aronson J , Blignaut J N , Gómez-Baggethun E , Nowak D J , Kronenberg J , de Groot R. Benefits of restoring ecosystem services in urban areas. *Current Opinion in Environmental Sustainability* , 2015 , 14: 101–108.
- [8] European Commission (EC) . Towards an EU Research and Innovation Policy Agenda for Nature-based Solutions & Re-naturing Cities. Final Report of the Horizon 2020 Expert Group on ‘Nature-based Solutions and Re-naturing Cities’. Luxembourg: Publications office of the European Union , 2015: p74 [2018–12–24]. <https://publications.europa.eu/cs/publication-detail/-/publication/fb117980-t5aa-46df-8edc-af367eddc202>.
- [9] Campbell A , Kapos V , Chenery A , Kahn S I , Rashid M , Scharlemann J , Dickson B. The Linkages Between Biodiversity and Climate Change Adaptation: A Review of the Recent Scientific Literature. Cambridge: UNEP , WCMC , 2009. <http://www.docin.com/p-696946687.html>.
- [10] Doswald N , Munroe R , Roe D , Giuliani A , Castelli I , Stephens J , Möller I , Spencer T , Vira B , Reid H. Effectiveness of ecosystem-based approaches for adaptation: review of the evidence-base. *Climate and Development* , 2014 , 6(2) : 185–201.
- [11] Laforteza R , Chen J Q , van den Bosc C K , Randrup T P. Nature-based solutions for resilient landscapes and cities. *Environmental Research* , 2016 , 165: 431–441.
- [12] Millennium Ecosystem Assessment (MEA) . *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Washington , DC: Island Press , 2005.
- [13] Chen J Q , Liu Y Q. Coupled natural and human systems: a landscape ecology perspective. *Landscape Ecology* , 2014 , 29(10) : 1641–1644.
- [14] Jackson D L. *The Farm as Natural Habitat: Reconnecting Food Systems with Ecosystems*. Washington , DC: Island Press , 2002.
- [15] Borsje B W , van Wesenbeeck B K , Dekker F , Paalvast P , Bouma T J , van Katwijk M M , de Vries M B. How ecological engineering can serve in coastal protection. *Ecological Engineering* , 2011 , 37(2) : 113–122.
- [16] Kabisch N , Frantzeskaki N , Pauleit S , Naumann S , Davis M , Artmann M , Haase D , Knapp S , Korn H , Stadler J , Zaunberger K , Bonn A. Nature-based solutions to climate change mitigation and adaptation in urban areas: perspectives on indicators , knowledge gaps , barriers , and opportunities for action. *Ecology and Society* , 2016 , 21(2) : 39.
- [17] Forest Ecosystem Management Assessment Team (FEMAT) . *Forest Ecosystem Management: An Ecological , Economic , and Social Assessment*. Washington , DC: U.S. Departments of Agriculture , Commerce , and the Interior , Environmental Protection Agency , 1993.
- [18] 祝遵凌. 设计与自然生态. 设计 , 2018 , (21) : 7–7.
- [19] 张北 , 祁娜. 基于城市规划设计下的城市生态设计探讨. 建筑与文化 , 2018 , (11) : 84–85.
- [20] Cohen-Shacham E , Walters G , Janzen C , Maginnis S. *Nature-based Solutions to Address Global Societal Challenges*. Gland , Switzerland: IUCN , 2016: 97–97.
- [21] Maes J , Liqueste C , Teller A , Erhard M , Paracchini M L , Barredo J I , Grizzetti B , Cardoso A , Somma F , Petersen J E , Meiner A , Gelabert E R , Zal N , Kristensen P , Bastrup-Birk A , Biala K , Piroddi C , Egoh B , Degeorges P , Fiorina C , Santos-Martín F , Naruševičius V , Verboven J , Pereira H M , Bengtsson J , Gocheva K , Marta-Pedroso C , Snäll T , Estreguil C , San-Miguel-Ayanz J , Pérez-Soba M , Grêt-Regamey A , Lillebø A I , Malak D A , Condé S , Moen J , Czúcz B , Drakou E G , Zulian G , Lavalle C. An indicator framework for assessing ecosystem services in support of the EU biodiversity strategy to 2020. *Ecosystem Services* , 2016 , 17: 14–23.
- [22] Keesstra S , Nunes J , Novara A , Finger D , Avelar D , Kalantari Z , Cerdà A. The superior effect of nature based solutions in land management for enhancing ecosystem services. *Science of the Total Environment* , 2018 , 610: 997–1009.

- [23] 邱均平. 信息计量学. 武汉: 武汉大学出版社, 2007: 1-20.
- [24] 吴箫, 傅辰昊, 李宇, 郝丽丽. 基于中国期刊全文数据库的生态城市研究文献计量分析. 热带地理, 2013, 33(4): 429-438.
- [25] 范晓春. 基于文献计量法的智慧城市研究论文的统计分析. 吉林省经济管理干部学院学报, 2014, 28(4): 48-53.
- [26] 韩浩, 姜仁贵, 解建仓, 于翔, 汪雅梅. 基于文献计量的我国城市内涝研究进展. 水资源与水工程学报, 2017, 28(3): 134-138.
- [27] 于怡鑫, 申峥峥, 郝琦. 我国当前城市治理问题的研究主题及其研究进展——基于文献计量法的分析. 上海城市管理, 2014, (6): 53-59.
- [28] 高凯. 文献计量分析软件 VOSviewer 的应用研究. 科技情报开发与经济, 2015, 25(12): 95-98.
- [29] van Eck N J, Waltman L, Dekker R, van den Berg J. A comparison of two techniques for bibliometric mapping: multidimensional scaling and VOS. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 2010, 61(12): 2405-2416.
- [30] Morris R L, Konlechner T M, Ghisalberti M, Swearer S E. From grey to green: efficacy of eco-engineering solutions for nature-based coastal defence. *Global Change Biology*, 2018, 24(5): 1827-1842.
- [31] van der Jagt A P N, Szaraz L R, Delshammar T, Cvejić R, Santos A, Goodness J, Buijs A. Cultivating nature-based solutions: the governance of communal urban gardens in the European Union. *Environmental Research*, 2017, 159: 264-275.
- [32] Shafraey E, Kim S. A study of walkable spaces with natural elements for urban regeneration: a focus on cases in Seoul, South Korea. *Sustainability*, 2017, 9(4): 587.
- [33] Versini P A, Kotelnikova N, Poulhes A, Tchiguirinskaia I, Schertzer S, Leurent F. A distributed modelling approach to assess the use of Blue and Green Infrastructures to fulfil stormwater management requirements. *Landscape and Urban Planning*, 2018, 173: 60-63.
- [34] Rafael S, Vicente B, Rodrigues V, Miranda A I, Borrego C, Lopes M. Impacts of green infrastructures on aerodynamic flow and air quality in Porto's urban area. *Atmospheric Environment*, 2018, 190: 317-330.
- [35] Camps-Calvet M, Langemeyer J, Calvet-Mir L, Gómez-Baggethun E. Ecosystem services provided by urban gardens in Barcelona, Spain: insights for policy and planning. *Environmental Science & Policy*, 2016, 62: 14-23.
- [36] Langemeyer J, Camps-Calvet M, Calvet-Mir L, Barthel S, Gómez-Baggethun E. Stewardship of urban ecosystem services: understanding the value (s) of Urban gardens in Barcelona. *Landscape and Urban Planning*, 2018, 170: 79-89.
- [37] Laforteza R, Chen J Q. The provision of ecosystem services in response to global change: evidences and applications. *Environmental Research*, 2016, 147: 576-579.
- [38] Kremer P, Hamstead Z, Haase D, McPhearson T, Frantzeskaki N, Andersson E, Kabisch N, Larondelle N, Rall E L, Voigt A, Baró F, Bertram C, Gómez-Baggethun E, Hansen R, Kaczorowska A, Kain J H, Kronenberg J, Langemeyer J, Pauleit S, Rehdanz K, Schewenius M, van Ham C, Wurster D, Elmqvist T. Key insights for the future of urban ecosystem services research. *Ecology and Society*, 2016, 21(2): 29.
- [39] Liqueste C, Udias A, Conte G, Grizzetti B, Masi F. Integrated valuation of a nature-based solution for water pollution control. Highlighting hidden benefits. *Ecosystem Services*, 2016, 22: 392-401.
- [40] Green T L, Kronenberg J, Andersson E, Elmqvist T, Gómez-Baggethun E. Insurance value of green infrastructure in and around cities. *Ecosystems*, 2016, 19(6): 1051-1063.
- [41] Fink H S. Human-nature for climate action: nature-based solutions for urban sustainability. *Sustainability*, 2016, 8(3): 254.
- [42] Zimmermann E, Bracalenti L, Piacentini R, Inostroza L. Urban flood risk reduction by increasing green areas for adaptation to climate change. *Procedia Engineering*, 2016, 161: 2241-2246.
- [43] Vujčić M, Tomicevic-Dubljevic J, Grbic M, Lecic-Tosevski D, Vukovic O, Toskovic O. Nature based solution for improving mental health and well-being in urban areas. *Environmental Research*, 2017, 158: 385-392.
- [44] van den Bosch M, Sang A O. Urban natural environments as nature-based solutions for improved public health—A systematic review of reviews. *Environmental Research*, 2017, 158: 373-384.