

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2020.02.006

# 海绵城市理念演变的知识图谱可视化分析

翟慧敏<sup>1,2</sup>,程启先<sup>1,2</sup>,李书覃<sup>1,2</sup>,张 迁<sup>1,2</sup>,夏圆向<sup>1,2</sup>,张 华<sup>1,2</sup>

(1. 信阳师范学院地理科学学院,河南 信阳 464000;

2. 信阳师范学院河南省水土环境污染协同防治重点实验室,河南 信阳 464000)

**摘要:**对各国海绵城市开发模式进行梳理,运用 Citespace 对海绵城市相关文献进行分析,绘制文献数量、研究作者、研究机构与研究关键词等科学知识图谱。结果表明:海绵城市的建设与研究进入了常态化阶段,文献数量呈现先增后缓特点;研究作者、机构等均较为分散,文献关键词主要是海绵城市、低影响开发、雨水利用等;研究热点主要有风景园林、城市化、绿色基础设施,尤其是绿色基础设施建设这一新方向需要重点关注。

**关键词:**海绵城市;知识图谱;Citespace;理念演变;可视化分析;绿色基础设施;低影响开发

**中图分类号:**X321;TV213 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2020)02-0034-07

**Visual analysis of knowledge map of sponge city concept evolution** // ZHAI Huimin<sup>1,2</sup>, CHENG Qixian<sup>1,2</sup>, LI Shuqin<sup>1,2</sup>, ZHANG Qian<sup>1,2</sup>, XIA Yuanxiang<sup>1,2</sup>, ZHANG Hua<sup>1,2</sup> (1. School of Geography Science, Xinyang Normal University, Xinyang 464000, China; 2. Key Laboratory for Synergistic Prevention of Water and Soil Environmental Pollution, Xinyang Normal University, Xinyang 464000, China)

**Abstract:** Combing the development mode of sponge cities in various countries, using Citespace to analyze the research literature of sponge cities, drawing the scientific knowledge map of literature quantity, research authors, research institutions and research keywords. The results show that the construction and research of sponge city has entered the normalization stage. The number of literature increases first and then slows down, and the research authors and institutions are scattered. The key words of literature are sponge city, low impact development, rainwater utilization, etc. The research hot-spots are landscape architecture, urbanization, green infrastructure, especially the new direction of green infrastructure construction, which needs to be focused on.

**Key words:** sponge city; knowledge map; Citespace; idea evolution; visual analysis; green infrastructure; low impact development

海绵城市在适应环境变化和应对自然灾害等方面具有良好的“弹性”,可提升城市生态系统功能,减少城市洪涝灾害的发生<sup>[1-2]</sup>。2015年4月,中华人民共和国财政部、中华人民共和国住建部、中华人民共和国水利部联合公布第一批16个海绵城市建设试点城市,目前这些试点城市建设已基本完成,在汛期试点区内均无明显内涝,取得初步成果<sup>[3]</sup>。

基于 Citespace 软件的科学知识图谱是一种将知识领域进行单元化处理,并对其数量、联系、聚集、突变等现象进行可视化分析的研究方法,现已广泛

应用于情报学<sup>[4]</sup>、医学<sup>[5]</sup>、生态学<sup>[6]</sup>、教育学<sup>[7]</sup>等多个学科领域。目前,国内对海绵城市科学知识图谱梳理的相关研究不多:李志明等<sup>[8]</sup>利用 Citespace 和 VOSviewer 软件对英文文献中海绵城市科学知识图谱进行了梳理;姚辉彬等<sup>[9]</sup>利用 Citespace 和 Ucinet 等软件对中文文献中海绵城市科学知识图谱进行了梳理;韩浩等<sup>[10]</sup>利用 SATI 软件对中文文献中城市内涝科学知识图谱进行了梳理,并指出海绵城市、低影响开发将是新的研究热点。以上研究处于海绵城市建设验收工作完成之前,未能客观完整地反映我国海绵城市建设活动。本研究以各国海绵城市主要

基金项目:国家自然科学基金(41701187);河南省哲学社会科学规划项目(2017CJJ093);河南省软科学研究项目(162400410139);信阳师范学院青年骨干教师资助计划(2017GGJS03)

作者简介:翟慧敏(1984—)女,讲师,硕士,主要从事城市建设与生态环境方面的研究。E-mail: huimin31574556@163.com

开发模式的梳理工作为基础,并利用 Citespace 和 CNKI(中国知网)进行我国海绵城市科学知识图谱构建的相关研究。

## 1 海绵城市理念演变

海绵城市理念演变较为复杂,结合参考文献<sup>[11-18]</sup>整理得到海绵城市相关理念演变(表 1)。我国海绵城市建设的核心指导思想是:综合水资源可持续利用、良性水循环、内涝防治、水污染防治、生态友好等多目标,统筹源头减排、过程控制、系统治理等多部分,协调城市公园系统、城市湿地系统等多内容,构建一系列有关城市雨水的管理系统<sup>[19]</sup>。近几年,低影响开发系统(LID)和绿色基础设施(GI)等措施逐渐被广泛应用于全球城市雨水管理建设中。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源

CNKI 是我国期刊文献最多、学科类别最全的中文数据库。选择 CNKI 中的北大核心、CSSCI、CSCD、EI 这 4 类核心期刊作为数据来源,选取“主题 = \* 低影响开发 \* or \* 海绵城市 \* or \* 城市雨水 \*”进行检索,时间、作者、单位、基金等其他内容选择为不限,获得初始文献 1 476 篇,经过简单的去重、筛选、梳理与整合,获得最终相关文献 1 385 篇作为此次研究的数据来源。

## 2.2 研究方法

针对 CNKI 导出相关文献的 Refworks 格式,利用 Citespace 软件进行数量、联系、聚集、突变等现象的可视化分析并构建海绵城市的知识图谱,其中数据处理采用 5.4R1 版本的 CNKI 数据分析板块。

研究遵循便捷、客观、准确原则,利用普赖斯理论来筛选核心作者、关键词等待筛选内容:

$$M = 0.749 \sqrt{m_{\max}} \quad (1)$$

式中: $M$  为该内容达到核心标准最低要求;0.749 为系数; $m_{\max}$  为该内容中的最大数量<sup>[20]</sup>。

## 3 文献数量、作者与研究机构

### 3.1 文献数量

文献数量是该研究近况的重要指标,是研究领域发展情况的“晴雨表”。根据不同年度进行海绵城市领域文献数量的统计,并绘制发文数量统计图(图 1)。我国海绵城市领域的核心期刊发表文献数量,经过了“缓慢增长-快速增长-稳定波动”3 个主要阶段:①在 2008 年之前,我国海绵城市相关研究较少,呈现出缓慢增长的态势,城市雨水利用、城市雨水管理等城市水环境工作逐步开展,逐渐孕育了海绵城市、低影响开发等理念;②2008—2016 年,我国海绵城市相关研究较多,呈现出快速增长的态势,伴随着大规模的城市化建设,城市内涝作为突出的城市问题受到广泛关注,海绵城市理念产生并快速发展,成为我国城市建设工作的组成部分,也是我国

表 1 海绵城市相关理念演变

Table 1 Evolution of sponge city related concepts

名称	国家	时间	区域	目标	设计特点	参考价值
最佳管理措施(BMPs)	美国	20 世纪 70 年代	街区、居住区及公园	雨洪径流、土壤流失控制	结合工程或非工程措施,更有效、更充分地进行雨水资源的循环利用	着重雨水滞留渗透、减轻径流污染、加强雨水综合利用,实现区域内的雨洪管理
可持续排水系统(SuDS)	英国	20 世纪 70 年代	街区、居住区	缓解城市内涝灾害	参照自然界的水体循环系统,来进行地表径流的收集、储存、净化	缓解城市化对城市自然水循环的影响,是使用雨水设施作为景观设计的典例
低影响开发系统(LID)	美国	20 世纪 90 年代	公园、保护区	解决雨水排放、污染问题	对城市降水进行雨水的吸收、存储、渗透、净化与利用	依托原有自然水循环系统,实现城市雨水收集利用的生态技术,实现可持续发展
洼地与渗渠系统(MR)	德国	20 世纪末	街区、公园	雨水滞留、储蓄	通过洼地、渗渠设施进行雨水的储存、渗透	进行雨水的分散式处理,对不同的土壤类型和降雨强度的适应性强
水敏感性城市设计(WSUD)	澳大利亚	20 世纪末	街区、公园	开发雨水、污水资源	雨污排水系统由直排模式转变为系统的循环模式,并形成标识性景观	将雨水循环与市政设施、园林景观设计相结合
低影响城市设计和开发化(LIUIDD)	新西兰	21 世纪初	街区、居住区及公园	综合措施与目标	在借鉴 LID、WSUD 等新型雨水管理体系的基础上产生和发展而来	流域尺度的雨水管理控制,平衡土地和水生生态系统,促进良性循环
绿色基础设施(GI)	美国	21 世纪初	保护区、公园	恢复、保持生态系统	恢复退化的城市绿地系统的功能	连续自然生态系统,恢复与重建自然生态体系
海绵城市(Sponge City)	中国	21 世纪初	街区、居住区及公园	综合全面的水问题解决方案	有别于传统的工程性措施,跨尺度的水生态基础设施	综合解决中国城乡突出的水问题,并对未来发展方向提出展望

缓解“城市病”的重要举措;③2016年后,海绵城市建设已经成为我国城市建设中的日常工作,呈现出稳定波动的态势,相关科研机构的广大专家学者仍会进行海绵城市建设的相关研究,但发文数量维持在较为合理的平台稳定区间内。

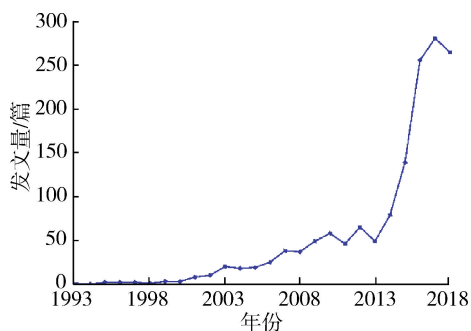


图1 海绵城市领域发文数量统计

Fig.1 Statistics of documents issued in field of sponge city

### 3.2 作者

作者是研究领域的主力军,侧面反映出领域内相互交流与合作现状。运用 Citespace 软件对海绵城市领域的相关文献进行作者研究,并生成研究作者知识图谱(图2),图中共有349个节点,572条连线,网络密度为0.0094。图谱主要展示了发文量在10以上的核心作者,其中李俊奇、车伍、王建龙、王文亮是最主要的核心作者。



图2 海绵城市领域作者知识图谱

Fig.2 Knowledge map of authors in field of sponge city

为更全面反映核心作者的数量、位次等情况,依据式(1)筛选核心作者,得到核心作者共计17位:李俊奇、车伍、王建龙、王文亮、任心欣、宫永伟、张书函、赵杨、王浩、王思思、张伟、李海燕、李家科、马洪涛、陈建刚、刘俊、孟光辉,他们的发文数量分别为84、82、26、22、18、18、17、16、13、13、12、11、11、11、

10、8、8篇。最高发文量为李俊奇84篇,最低发文量为8篇,核心作者的平均发文量约为22篇。

根据核心作者在CNKI所发表的文献来确定不同核心作者的专业,其中每个作者选取3个主要专业进行统计。得到核心作者与10个专业有关:建筑科学与工程、水利水电工程、环境科学与资源利用、公路与水路运输、农业工程、地球物理学、气象学、化学、高等教育、宏观经济管理与可持续发展,发文数量分别为17、14、12、2、1、1、1、1、1、1。其中建筑科学与工程、水利水电工程和环境科学与资源利用3个专业占据了总体数量的84.31%,呈现出高度集中的趋势。

从核心作者的数量、位次、联系以及专业来看,海绵城市领域的作者呈现出“局部聚集、整体扩散、专业性”的趋势,且该现象随着作者等级提升更加明显。①局部聚集的趋势。核心作者群凸显,“一超多强”的现象显著:以李俊奇、车伍、王建龙、王文亮等为代表的单个超级作者群,以任心欣、张书函、李家科、马洪涛等为代表的多个强劲作者群。②整体扩散的趋势。核心作者发文数量占比不大:核心作者占据了作者数量的4.87%,保守估计(即以每个核心作者作为第一作者的身份发表5篇文献的数量来计算)发表了文献数量的6.14%,即集中程度属于一般情况,说明从事海绵城市的专家学者较多,且大多有一定数量的学术论文成果。③专业性强的趋势。核心作者的专业背景大都相同或相近,其中100%、82.35%和70.59%的核心作者分别有建筑科学与工程、水利水电工程和环境科学与资源利用的工学专业背景,拥有诸如公路与水路运输、农业工程等其他专业背景(尤其是人文社会科学等专业背景)的核心作者不多,且其他专业的分布与数量均较为零散。

### 3.3 研究机构

研究机构是研究作者所在的从事科学研究的机构、院所、实验室等单位,从侧面反映出领域内相互交流与合作现状。运用 Citespace 软件对海绵城市领域的相关文献进行机构研究,并生成研究机构知识图谱(图3)。图谱主要展示了发文量在10及以上的核心机构,图中共有190节点,151条连线,网络密度为0.0084。

由图3可以看出,北京建筑大学城市雨水系统与水环境省部共建教育部重点实验室是最主要的核心机构,其次有中国城市规划设计研究院、河海大学水文水资源学院、深圳市城市规划设计研究院有限公司等核心机构。从机构性质的视角来看,海绵城

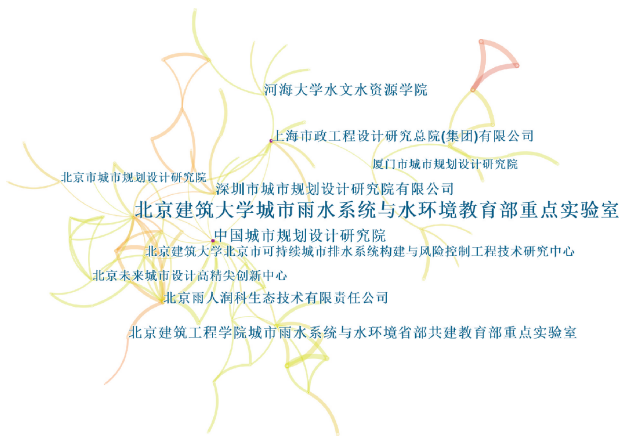


图3 海绵城市领域研究机构知识图谱

Fig.3 Knowledge map of research institutions in the field of sponge city

市的研究机构呈现出高等院校、设计研究院“两开花”的态势:北京建筑大学前身为北京建筑工程学院,是传统的建筑类强校,其建筑学、风景园林学均在学科评估中位于前十,也是北京地区唯一一所建筑类高等学校<sup>[21]</sup>;河海大学是我国水利工程专业的翘楚,其水利工程、环境科学与工程专业是位列我国“双一流”计划的世界一流学科建设学科<sup>[22]</sup>;中国城市规划设计研究院、深圳市城市规划设计研究院、上海市市政工程规划设计研究总院等设计院均属于我国规模较大、等级较高的设计研究院。从机构专业的视角来看,海绵城市的研究机构则呈现出“众星捧月”的趋势:以北京建筑大学水环境实验室、河海大学水文学院、北京雨人公司等为代表的水资源与水环境相关机构占据中心位置;中国城市规划设计研究院、深圳市城市规划设计研究院、上海市市政工程规划设计研究总院等则代表了其他城市规划、市政工程等与海绵城市息息相关的多个专业。需要引起注意的是,与高等院校所进行海绵城市的基础理论研究不同,设计研究院主要从事海绵城市的应用技术研究。

## 4 关键词、研究热点与新方向

### 4.1 关键词

关键词是论文研究主题的总结与概括,有利于对该研究领域的突出点、核心点进行有效拓展。运用 Citespace 软件对海绵城市领域的相关文献进行关键词研究,并生成关键词知识图谱(图4),图谱中共有305个节点,853条连线,网络密度0.0184。图谱中主要展示了词频在16以上的核心关键词。

由图4可见,海绵城市、低影响开发、雨水利用是最主要的核心关键词,核心关键词间有较强的逻辑性。从合情推理的角度来看,核心关键词具有较强的向性、序性:作为城市内涝、年径流总量控制、风

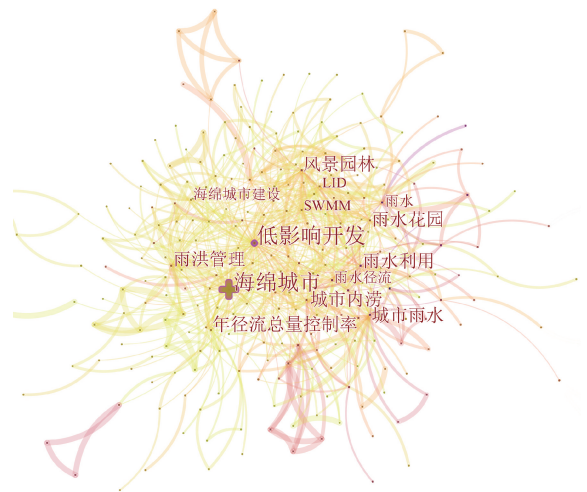


图4 海绵城市领域关键词知识图谱

景园林的交叉领域,海绵城市从雨水利用出发,贯彻低影响开发理念,结合我国现实情况,获得了新的发展,最终演变并拓展为“海绵城市”理念,指导我国的海绵城市建设<sup>[23]</sup>。从演绎推理的角度来看,核心关键词具有较强的存性、网性:我国地处典型的东亚季风区、旱涝灾害频发<sup>[24]</sup>,且近年来我国城市建设速度过快、基础设施难以满足城市发展需要<sup>[25]</sup>,城市内涝现象成为必然结果,以低影响开发为代表的、囊括雨水利用与径流控制等在内的海绵城市建设也成为值得关注的课题。

### 4.2 研究热点

研究热点是研究领域内关键词中最核心的内容,且随时间的变化此消彼长,充分反映研究领域的着重点与着眼点。基于上述关键词分析,利用 Citespace 软件中的突变关键词识别模块,得到突变关键词示意图(图5)。

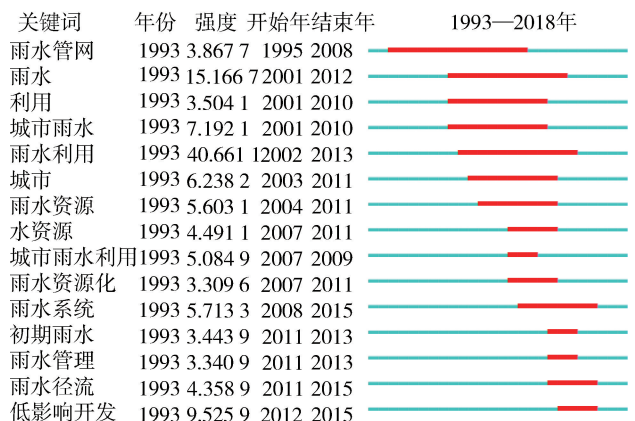


图5 海绵城市领域突变关键词示意图

Fig.5 Schematic diagram of key words in the field of sponge city

由图5可见,与海绵城市文献数量变化大体上相一致,我国海绵城市研究热点经过了“集中-扩散”

2个主要阶段:2008年以前,在研究初期的热点较为集中,主要为雨水管网、城市雨水利用等基础性研究,体现海绵城市理念孕育阶段的适宜评价、区域探讨等基础理论研究;2008年及以后,海绵城市理念产生并快速发展,出现了众多的研究新方向,主要为低影响开发、雨水系统等拓展性研究,体现海绵城市理念拓展阶段的特定优化、综合管理等应用技术研究。

### 4.3 新方向

研究新方向代表了研究领域内未来发展的新趋势、新动态,将在未来几年内获得较好的深入拓展与充分延伸。根据式(1)筛选2008年及以后的核心关键词作为研究新方向:海绵城市(2015年)、低影响开发(2009年)、风景园林(2008年)、城市内涝(2010年)、SWMM(2014年)、年径流总量控制率(2015年)、雨洪管理(2011年)、雨水花园(2011年)、雨水管理(2011年)、雨水系统(2008年)、LID(2014年)、城市化(2009年)、绿色基础设施(2009年),其数量分别为:479、201、53、46、40、38、37、35、19、17、16、16、16次。

从海绵城市的研究新方向来看,本研究认为具有较为突出的3个显著特征:①海绵城市建设与城市建设常态化管理紧密衔接,海绵城市、城市化、雨洪管理、雨水系统这4个新方向,印证了海绵城市建设已成为城市化建设中的排水防涝等相关规划设计中紧密的一环;②海绵城市建设中学科交叉凸显<sup>[26]</sup>,风景园林、SWMM、雨水管理、年径流总量控制率这4个新方向,表示了海绵城市建设不仅仅是建筑科学与工程学科的内容,更逐渐与风景园林、工程管理等学科有了较好的交流与融合;③海绵城市与绿色基础设施的统筹发展,将会是其未来发展的大方向之一<sup>[27]</sup>。虽然绿色基础设施是新提出的理念,但是在研究新方向中已有较好位置,即在未来海绵城市逐步常态化的研究与建设中会得到较好拓展。

## 5 结论与建议

a. 对海绵城市理论演变进行梳理,发现海绵城市理念由美国、德国、澳大利亚、新西兰等国不断发展而来,主要模式有最佳管理措施(BMPs)、可持续排水系统(SuDS)、低影响开发系统(LID)等;低影响开发系统(LID)和绿色基础设施(GI)在全球雨水管理中得到了广泛应用;建设具有我国特色的海绵城市值得探讨。

b. 作为发展较为迅速的新兴研究领域,近年来海绵城市已处于相对稳定的阶段;海绵城市的作者

呈现出“局部聚集、整体扩散、专业性强”的特点,有利于海绵城市研究的持续性发展;海绵城市作者的机构从不同视角呈现出“两开花”与“众星捧月”的趋势,现状较为良好,但其基础理论与应用技术研究仍然相对独立。

c. 海绵城市建设的关键词联系密切、逻辑性强,研究热点与研究新方向凸显;海绵城市相关研究以2008年为界限,具有明显的阶段性;在将来的海绵城市相关研究中,呈现出常态管理、学科交叉的大方向,且与绿色基础设施等的结合研究,将会是重要的新兴领域。

习近平总书记指出“顺应自然、保护生态的绿色发展,昭示着未来”<sup>[28]</sup>,海绵城市的建设正是这种绿色发展模式的典范,基于以上结论提出如下建议:

a. 加快促进海绵城市的基础与应用研究、设计与规划管理的“双结合”。明确海绵城市专项规划与现有的城市专项规划(如城市给水排水规划、绿地景观规划等)相互关联<sup>[29]</sup>,并将海绵城市的基础理论与应用技术研究进行有机组合,稳步引导海绵城市建设工作制度化、常态化发展。

b. 加快促进海绵城市的学科交叉研究,尤其是自然工程科学与人文社会科学的交流。海绵城市的相关研究不能只集中于若干专业领域,综合运用学科交叉视角进行有关理论的有机扩充,如,从宏观经济管理与可持续发展进行海绵城市PPP建设研究<sup>[30]</sup>、从课程与教学论进行海绵城市工作推广宣传<sup>[31]</sup>、从计算机科学与技术进行海绵城市优化模型研究<sup>[32]</sup>等,都是值得引起关注和思考的研究方向。

c. 我国海绵城市建设起步晚、周期长,应当格外注意以绿色基础设施为代表的新兴领域的发展。通过推动海绵城市中绿色基础设施的建设和发展,并与生态城市<sup>[33]</sup>、园林城市<sup>[34]</sup>、“城市双修”<sup>[35]</sup>等理念充分衔接,使我国海绵城市建设理论更加丰富、完善,最终实现城市永续发展这一不懈追求的目标。

### 参考文献:

- [1] 翟慧敏,谢文全,杨先武,等. 基于生态海绵体评价的海绵城市规划研究:以信阳市为例[J]. 信阳师范学院学报(自然科学版), 2018, 31(3): 443-448. (ZHAI Huimin, XIE Wenquan, YANG Xianwu, et al. Study on the design of sponge city based on ecological sponge evaluation; a case study in Xinyang [J]. Journal of Xinyang Normal University (Natural Science Edition), 2018, 31(3): 443-448. (in Chinese))
- [2] 杜新强,贾思达,方敏,等. 海绵城市建设对区域地下水资源的补给效应[J]. 水资源保护, 2019, 35(2): 13-17. (DU Xinqiang, JIA Sida, FANG Min, et al. Recharge

- effect of sponge city construction on regional groundwater resources[J]. *Water Resources Protection*, 2019, 35(2): 13-17. (in Chinese))
- [3] 谢映霞. 中国的海绵城市建设: 整体思路与政策建议[J]. *人民论坛·学术前沿*, 2016(21): 29-37. (XIE Yingxia. China's "sponge city" development: the overall idea and policy proposal[J]. *Frontiers*, 2016(21): 29-37. (in Chinese))
- [4] 邱菊. 基于 Citespace 的知识可视化分析及应用: 以国际出勤主义行为研究为例[J]. *情报科学*, 2018, 36(12): 139-144, 155. (QIU Jyu. Knowledge visualization analysis and application based on Citespace: a case study of international presenteeism [J]. *Information Science*, 2018, 36(12): 139-144, 155. (in Chinese))
- [5] 黄柯云, 林奕蝶, 汪池洁, 等. 空气污染与健康效应研究热点与前沿: 基于 Citespace 的文献分析[J]. *现代预防医学*, 2018, 45(23): 4249-4253. (HUANG Keyun, LIN Yidie, WANG Chijie, et al. Hot spots and frontiers on the air pollution and human health effects based on Citespace literature analysis[J]. *Modern Preventive Medicine*, 2018, 45(23): 4249-4253. (in Chinese))
- [6] 施生旭, 童佩珊. 基于 Citespace 的城市群生态安全研究发展态势分析[J]. *生态学报*, 2018, 38(22): 8234-8246. (SHI Shengxu, TONG Peishan. An analysis of ecological security of the urban agglomeration development trend based on Citespace econometric analysis [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(22): 8234-8246. (in Chinese))
- [7] 李文田, 张华. 基于 Citespace 的地理教育研究知识图谱可视化分析[J]. *地理教学*, 2019(2): 17-20. (LI Wentian, ZHANG Hua. Visual analysis of knowledge graph of geography education research based on Citespace [J]. *Geography Teaching*, 2019(2): 17-20. (in Chinese))
- [8] 李志明, 濮佩君. 英文文献中的海绵城市研究进展: 基于 Citespace 和 VOSviewer 的知识图谱分析[J]. *现代城市研究*, 2016(7): 12-18. (LI Zhiming, PU Peijun. Research progress of the sponge city in English literature: a scientific knowledge mapping based on Citespace and VOS viewer [J]. *Modern Urban Research*, 2016(7): 12-18. (in Chinese))
- [9] 姚辉彬, 徐友全, 陈斌. 海绵城市研究动态及热点分析[J]. *建筑经济*, 2017, 38(10): 21-26. (YAO Huibin, XU Youquan, CHEN Bin. Analysis of research trends and hotspots of sponge city [J]. *Construction Economy*, 2017, 38(10): 21-26. (in Chinese))
- [10] 韩浩, 姜仁贵, 解建仓, 等. 基于文献计量的我国城市内涝研究进展[J]. *水资源与水工程学报*, 2017, 28(3): 134-138. (HAN Hao, JIANG Rengui, XIE Jiancang, et al. Research progress of the urban water-logging in China based on bibliometrics [J]. *Journal of Water Resources and Water Engineering*, 2017, 28(3): 134-138. (in Chinese))
- [11] DIETZ M E. Low impact development practices: a review of current research and recommendations for future directions[J]. *Water Air & Soil Pollution*, 2007, 186(1-4): 351-363.
- [12] 刘妹宇, 宋代风. 德国“绍尔豪森公园”住区雨水排放系统规划与建设[J]. *给水排水*, 2009, 45(7): 83-87. (LIU Shuyu, SONG Daifeng. Planning and construction of rainwater discharge system in residential areas of Schorhausen Park, Germany [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2009, 45(7): 83-87. (in Chinese))
- [13] YOUNG K D, YOUNOS T, DYMOND R L, et al. Application of the analytic hierarchy process for selecting and modeling stormwater best management practices[J]. *Journal of Contemporary Water Research and Education*, 2010, 146(1): 50-63.
- [14] ROON V, RUTH M. Water sensitive residential developments: application of LIUDD principles and methods in the Netherlands, Australia and New Zealand [J]. *Urban Water Journal*, 2011, 8(6): 325-335.
- [15] 俞孔坚, 李迪华, 袁弘, 等. “海绵城市”理论与实践[J]. *城市规划*, 2015, 39(6): 26-36. (YU Kongjian, LI Dihua, YUAN Hong, et al. "Sponge city": theory and practice [J]. *City Planning Review*, 2015, 39(6): 26-36. (in Chinese))
- [16] 廖朝轩, 高爱国, 黄恩浩. 国外雨水管理对我国海绵城市建设的启示[J]. *水资源保护*, 2016, 32(1): 42-45, 50. (LIAW Chaohsien, GAO Aiguo, HUANG Enhao. Enlightenment of rainwater management in foreign countries to sponge city construction in China [J]. *Water Resources Protection*, 2016, 32(1): 42-45, 50. (in Chinese))
- [17] 蔡庆拟, 陈志和, 陈星, 等. 低影响开发措施的城市雨洪控制效果模拟[J]. *水资源保护*, 2017, 33(2): 31-36. (CAI Qingni, CHEN Zhihe, CHEN Xing, et al. Simulation of control efficiency of low impact development measures for urban storm water [J]. *Water Resources Protection*, 2017, 33(2): 31-36. (in Chinese))
- [18] 黄津辉, 段亭亭. 中国海绵城市开发与加拿大综合雨洪管理对比研究: 以多伦多为例[J]. *水资源保护*, 2017, 33(5): 5-12. (HUANG Jinhui, DUAN Tingting. Comparative study on sponge city development in China and integrated storm water management in Canada: a case study of Toronto [J]. *Water Resources Protection*, 2017, 33(5): 5-12. (in Chinese))
- [19] 吴丹洁, 詹圣泽, 李友华, 等. 中国特色海绵城市的新兴趋势与实践研究[J]. *中国软科学*, 2016(1): 79-97. (WU Danjie, ZHAN Shengze, LI Youhua, et al. New trends and practical research on the sponge cities with Chinese characteristics [J]. *China Soft Science*, 2016(1): 79-97. (in Chinese))

- [20] 李继红,王洪江,江珊,等. 综合指数和 H 系列指数测评期刊核心作者的比较研究:以《编辑学报》为例[J]. 中国科技期刊研究,2017,28(3):266-270. (LI Jihong, WANG Hongjiang, JIANG Shan, et al. Comparison of the evaluation of core authors by comprehensive index and H series index;taking Acta Editologica as an example[J]. Chinese Journal of Scientific and Technical Periodicals, 2017,28(3):266-270. (in Chinese))
- [21] 北京建筑大学官网. 北京建筑大学学校简介[EB/OL]. (2018-05-01) [2019-05-04]. <http://www.bucea.edu.cn/xxgk/xxjj/index.htm>.
- [22] 教育部,财政部,国家发改委. 教育部、财政部、国家发展改革委员会关于公布世界一流大学和一流学科建设高校及建设学科名单的通知[EB/OL]. (2017-09-20) [2019-05-04]. [http://www.moe.gov.cn/srcsite/A22/moe\\_843/201709/t20170921\\_314942.html](http://www.moe.gov.cn/srcsite/A22/moe_843/201709/t20170921_314942.html).
- [23] 俞孔坚,李雷. 缓解内涝需营造“海绵城市”[J]. 中国经济报告,2016(8):52-55. (YU Kongjian, LI Lei. Building “Sponge City” to alleviate waterlogging[J]. China Policy Review,2016(8):52-55. (in Chinese))
- [24] 安芷生,刘晓东. 东亚季风气候的历史与变率[J]. 科学通报,2000(3):238-249. (AN Zhisheng, LIU Xiaodong. History and variability of the East Asian monsoon climate [J]. Chinese Science Bulletin, 2000(3):238-249. (in Chinese))
- [25] 周元,孙新章. 中国城镇化道路的反思与对策[J]. 中国人口·资源与环境,2012,22(4):56-59. (ZHOU Yuan, SUN Xinzhang. Rethinking and countermeasures on China's urbanization road[J]. China Population Resources and Environment,2012,22(4):56-59. (in Chinese))
- [26] HOU J W, MAO H X, LI J P, et al. Spatial simulation of the ecological processes of stormwater for sponge cities [J]. Journal of Environmental Management, 2019, 232(4):574-583.
- [27] 唐双成. 海绵城市建设中小型绿色基础设施对雨洪径流的调控作用研究[D]. 西安:西安理工大学,2016.
- [28] 杜尚泽. 习近平出席二〇一九年中国北京世界园艺博览会开幕式并发表重要讲话[N]. 人民日报,2019-04-29(001).
- [29] 李俊奇,任艳芝,聂爱华,等. 海绵城市:跨界规划的思考[J]. 规划师,2016,32(5):5-9. (LI Junqi, REN Yanzhi, NIE Aihua, et al. Sponge city: cross-disciplinary planning[J]. Planners,2016,32(5):5-9. (in Chinese))
- [30] 王小丽,王卓甫,丁继勇. 海绵城市 PPP 项目运营维护服务契约设计[J]. 软科学,2019,33(3):127-132. (WANG Xiaoli, WANG Zhuofu, DING Jiyong. Design for operation and maintenance service contract in sponge-city PPP project[J]. Soft Science,2019,33(3):127-132. (in Chinese))
- [31] 贺志康,郑友强,谢爱军. 从中学地理视角浅谈海绵城市建设[J]. 地理教学,2016(12):58-60. (HE Zhikang, ZHENG Youqiang, XIE Aijun. The viewpoint of middle school geography construction on sponge city [J]. Geography Teaching,2016(12):58-60. (in Chinese))
- [32] 翟慧敏,张迁,郭艳平,等. 考虑光伏发电的海绵城市优化模型研究[J]. 可再生能源,2017,35(7):1022-1026. (ZHAI Huimin, ZHANG Qian, GUO Yanping, et al. Study on optimization model for city considering PV generate [J]. Renewable Energy Resources,2017,35(7):1022-1026. (in Chinese))
- [33] 胡庆芳,王银堂,李伶杰,等. 水生态文明城市与海绵城市的初步比较[J]. 水资源保护,2017,33(5):13-18. (HU Qingfang, WANG Yintang, LI Lingjie, et al. Preliminary comparison between water-ecological civilization city and sponge city [J]. Water Resources Protection,2017,33(5):13-18. (in Chinese))
- [34] 杨青娟,罗斯·艾伦,梅瑞狄斯·多比. 风景园林学在海绵城市构建中的角色研究:以澳大利亚墨尔本为例[J]. 中国园林,2016,32(4):74-78. (YANG Qingjuan, ALLEN Ross, DOBBIE Meredith. The role of landscape architecture in sponge city: case study of Melbourne, Australia[J]. Chinese Landscape Architecture,2016,32(4):74-78. (in Chinese))
- [35] 雷维群,徐姗,周勇,等. “城市双修”的理论阐释与实践探索[J]. 城市发展研究,2018,25(11):156-160. (LEI Weiqun, XU Shan, ZHOU Yong, et al. Theoretical explanation and practical exploration of urban betterment and ecological restoration [J]. Urban Development Studies,2018,25(11):156-160. (in Chinese))

(收稿日期:2019-05-07 编辑:王芳)

(上接第 33 页)

- [22] 王咏梅,任福民,王小玲,等. 中国台风降水分离客观方法的改进研究[J]. 气象,2006,32(3):6-10. (WANG Yongmei, REN Fumin, WANG Xiaoling, et al. The study on the objective technique for partitioning tropical cyclone precipitation in China[J]. Meteorological Monthly,2006,32(3):6-10. (in Chinese))
- [23] 刘熙明,傅敏宁,邹海波. 湖泊对降水的影响研究回顾[J]. 气象与减灾研究,2012,35(1):1-6. (LIU Ximing, FU Minning, ZOU Haibo. Review of the lake-effect precipitation study [J]. Meteorology and Disaster Reduction Research,2012,35(1):1-6. (in Chinese))
- [24] DAI Y, YAO T, LI X, et al. The impact of lake effects on the temporal and spatial distribution of precipitation in the Nam Co Basin, Tibetan Plateau [J]. Quaternary International,2016,475:63-69.

(收稿日期:2019-06-21 编辑:王芳)