

# 基于科技文本挖掘的我国水资源研究知识图谱分析

陈思源<sup>1</sup>, 陆丹丹<sup>1</sup>, 程海梅<sup>2</sup>

(1.广西财经学院工商管理学院,广西 南宁 530003; 2.广西财经学院图书馆,广西 南宁 530003)

**摘要:**采用科技文本挖掘分析工具 CiteSpace,以 2007~2017 年中国知网数据库收录的 4 469 篇国内水资源管理研究核心期刊论文为数据来源,分析我国近 10 年来水资源研究科技论文的时间分布、作者分布以及研究热点和趋势并绘制国内水资源研究的知识图谱。结果显示,近 10 年来我国关于水资源研究方面的论文数量呈现逐步提高的态势,作者之间的研究联系进一步密切,研究机构之间的联系相对集中。近期的研究高频词汇主要包括水资源管理、水资源承载力、水资源评价、水资源安全等;高频词汇与我国水资源宏观政策涉及的严格水资源管理制度、用水许可、用水总量控制等主题之间的内在逻辑联系较为紧密;最严格水资源管理制度、流域综合管理和水生态文明建设等内容将是未来主要研究方向。

**关键词:**科技文本;挖掘;水资源;知识图谱

中图分类号:C812

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2019)02-0061-06

## 1 引言

水资源是人类生存和社会经济发展的战略性基础性资源。随着我国社会经济的发展,水资源与社会经济发展之间的矛盾日益加剧,水资源研究受到学者们高度关注<sup>[1]</sup>,成为资源科学领域研究的重点和热点<sup>[2-3]</sup>。在不同时间尺度和研究视角上,有关水资源的研究综述和研究进展也逐渐被国内外学术界广大学者所重视<sup>[4-5]</sup>,形成较为独立和完整的研究成果<sup>[6-8]</sup>。这些研究成果丰富了水资源研究的理论和方法,拓展了研究视角。有鉴于此,本文采用文献计量学和可视化方法,对近十年内 CNKI 数据库中收录的水资源文献进行全面分析,运用知识网络分析工具 CiteSpace 绘制 2007~2017 年水资源研究的科学知识图谱,全景式展现我国水资源研究发展轨迹,识别研究前沿,探索发展趋势,以期水资源研究和学科发展提供科学支撑。

## 2 研究方法与数据获取

### 2.1 研究方法

本文采用的研究方法是基于知识图谱的科技文本挖掘法。知识图谱科技文本挖掘 (Mapping Knowledge

Domain)概念起源于美国,是指用可视化技术来发现、描述、分析以及表现学科、领域、个人文献或作者间的相互网络关系<sup>[9-10]</sup>。其突出的优点是利用空间图像对引文数据库中篇名、作者、机构等进行数据收集,建立并分析文献之间的共被引关系、作者关系、共现关系以及学科关系,展示学术研究中的学科网络结构和内在联系,厘清学科发展脉络。本文使用 CiteSpace 软件对 2007 年到 2017 年国内水资源研究进行科技文本的网络关系挖掘,主要从三个层面探讨水资源研究领域的知识点与理论结构:一是从宏观层面讨论国内近期水资源研究的整体网络基本属性,包括发文的时间分析、研究机构分析以及作者联系等;二是在微观层面探讨水资源研究的关键词词频、热点词汇和断点分析,用于反映知识网络的热点、核心内容等;最后结合文献对水资源研究趋势做出整体性分析。

### 2.2 数据获取与处理

在中国知网中同时选择中国期刊全文数据库的 EI、SCI、CSSCI 和核心期刊,检索项中选择“题名”,匹配中选择“精确”,检索词输入“水资源”关键词,从 2007 年 1 月到 2017 年 9 月,逐年检索反映水资源配置研究的期刊文献,在数据库所能提供的最大范围内

收稿日期:2017-12-12

基金项目:国家自然科学基金项目(41461110)

作者简介:陈思源(1972-),男,安徽无为,人,博士(后),教授,主要从事城市与区域规划、资源与环境管理等研究。E-mail:theesy@126.com

搜集相关文献,共获得文献4 928篇。去除这些文献中的其他类型文献,例如商业广告、单位介绍、纪念专稿等,得到有效文献4 469篇。

### 3 水资源研究的可视化分析

#### 3.1 文献刊发时间分析

在4 469有效文献篇中:(1)从文献刊发的期刊类型来看,核心期刊文献4 302篇,占刊发数的96.2%;SCI和EI期刊文献269篇,占刊发数的6.0%;CSSCI期刊文献1 061篇,占刊发数的23.7%,年均刊发428篇。SCI和EI期刊文献篇数所占比例偏少;(2)从年度分布来看,文献刊发数量经历了两个发展阶段:第一阶段为2007~2011年高位发展阶段,年均发文520篇,文献数量刊发峰值出现在2008年,达到555篇;第二阶段为2012~2017年适度减少阶段,年均发文356篇,其中最低值出现在2015年,为332篇(见图1),此后也一直保持年均300篇以上的发文量。这主要是因为2007年1月全国流域综合规划修编工作的全面启动,在此背景下水资源研究工作日益受到各级政府部门和学术界的重视,促进了水资源综合治理、优化配置和高效利用等相应研究成果的产生。2011年后年均发文量有所减少,其主要原因与核心期刊的检索目录变化有关。

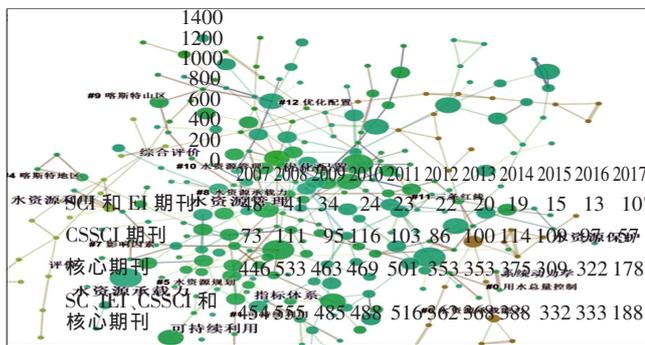


图1 我国近10年水资源研究期刊文献刊发量时间分布

Fig.1 The time distribution of water resources research journals in China in the last 10 years

#### 3.2 作者与机构分析

用最小生成树算法对水资源研究领域的作者进行统计分析,形成水资源研究作者频次统计表(见表1)和作者网络分析图。从论文发布的年份看,引用频次前20的作者中,很多人都是在2007年以前已经开展了专业研究,也就是说大多数人的成果在2007年及以前已经首次出现。

表1 近期主要研究者引用频次与刊发时间

Table1 The citation frequency and publication time of the recent major researchers

序号	频次	发表年份	序号	频次	年份
1	29	2007	11	16	2007
2	26	2009	12	16	2009
3	23	2007	13	15	2007
4	21	2007	14	15	2016
5	20	2007	15	14	2007
6	20	2007	16	14	2009
7	18	2007	17	13	2007
8	17	2007	18	13	2010
9	17	2007	19	12	2007
10	16	2008	20	12	2008

在作者网络联系图中,作者之间的连线表明该领域的研究大多通过合作完成。这些学者是近期我国水资源研究领域作者网络构建者与知识传递者<sup>[12]</sup>。这些作者主要围绕分布式水文模型、管理制度,水资源优化配置、知识图等领域展开相关研究。从作者所属的机构之间的连线密度来看,研究机构之间形成了广泛联系的合作伙伴关系,形成了跨区域的协同研究。

#### 3.3 关键词分析

运行 Citespace,设置网络节点为关键词(Keywords),时间年限为2007~2017年,时间切片为1年,根据规模值和模块值不断调整阈值,最终确定阈值为每个时间切片中的排名前20位的关键词,对4 469篇文献数据进行知识图谱研究热点分析,得到水资源研究的关键词聚类可视化图形(见图2)。图中圆圈越大表示关键词出现的频次越大。水资源管理和水资源承载力在水资源研究文献中的出现频次明显高于其他关键词,同时水资源保护、水资源安全、可持续利用、气候变化、可持续发展、优化配置等关键词出现频次也较高,在近一阶段研究中被关注较多。

##### 3.3.1 水资源管理研究

水资源管理研究主要涉及水资源管理的行政体制和管理制度。(1)从行政体制看,当前的水资源管理主要涉及区域用水总量调控和许可审批机制、基于用水定额的取水权交易机制、流域排污权交易机制,区域生态环境用水保障机制等方面。(2)从管理制度看,主要涉及水科学知识宣传和普及制度、政府水资源管理责任机制的强化、水资源管理中的社会公众和利益相关者参与机制等。(3)当前我国的水资源管理趋势

正在由传统的供给型管理转向需求型管理,由工程管理转向资源管理,由单项工程技术手段转向综合管理手段。经济激励、公共参与、宣传教育和信息战略日益成为当今水资源管理的有力工具。

### 3.3.2 水资源承载力研究

随着水资源短缺与人类社会发展的矛盾不断加剧,加之承载力概念的发展,在吸收了国外承载力研究成果的基础上,由我国学者在20世纪80年代末提出水资源承载力的研究<sup>[14]</sup>,并在我国得到了独立的发展并应用于“社会—经济—水—资源”复合系统中,取得了较为丰富的成果。水资源承载能力研究及应用工作主要分为评价和规划两大类:评价水资源与经济社会协调发展程度;规划计算水资源支撑的社会规模等。从研究方法看,常规趋势法因为有较强的直观性、易操作性且评价标准容易在全国范围内实现统一、标准化,是当前较适合的水资源承载力研究方法。开展全国水资源承载能力监测预警机制建设工作,目标就是对全国县域水资源承载状况进行动态评价,建立县域水资源承载能力动态监测预警机制<sup>[15]</sup>,该项工作将成为我国水资源承载力研究规范化的重要转折。

### 3.3.3 水资源保护研究

我国学者从20世纪80年代后期在联合国教科文组织的资助下开始了自然资源安全对各个方面影响的展开研究。伴随20世纪80年代对全球气候变化研究的重视加之可持续发展理论研究的深入,资源可持续利用管理的研究出现新趋势,水资源保护、水资源配置成为水资源研究热点<sup>[16]</sup>。当前的水资源保护研究及管理工作的实践主要涉及水资源综合规划、最严格水资源管理制度、“三条红线”、主要江河流域水量分配方案等。

### 3.3.4 水资源安全与评价研究

水资源安全是指在不超出水资源承载能力和水环境承载能力的条件下,水资源的供给能够在保证质量的基础上满足人类生存、社会进步与经济发展的需要,维系良好生态环境的需求。水资源安全涉及到自然、社会、经济及人文等方面,具有开放性、复杂性、多层次性。联合国在1977年召开的世界水会议的第一项决议中就指出:没有对水资源的综合评价,就谈不上对水资源的合理规划与管理,并号召各国要进行一次专门的国家水平的水资源评价活动<sup>[16]</sup>。水资源安全研究涉及的内容广泛,是一个复杂的过程,水资源评价是水资

源安全研究关键问题之一<sup>[17]</sup>。水资源安全作为一个完整的概念体系。包括水资源安全范畴、水资源安全度量、水资源安全评价及水资源安全保障体系等内容。水资源安全评价的目的是分析区域内水资源利用的安全状况并预测未来的水资源安全趋势。水资源评价是保证水资源的可持续开发和管理的的前提,是进行与水有关活动的基础,具体内容主要涉及选择和确定科学合理的水资源安全度量指标。

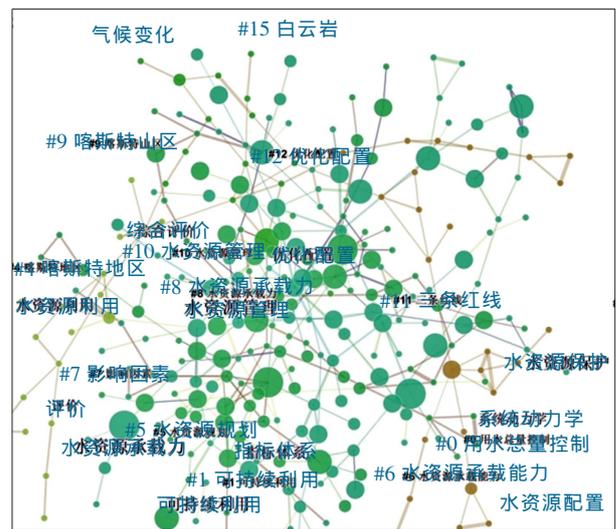


图2 水资源研究的关键词聚类可视化图形

Fig.2 The key words clustering visualization image of water resources research

## 3.4 水资源研究的发展轨迹分析

在关键词研究(见表2)基础上,对高频关键词汇进行突变分析。突变是指某年份文献中关键词词频骤增的程度,与关键词出现次数的多少并无直接关系。依据关键词之间的交互关系与突变作用,能够进一步挖掘该领域的演变轨迹与阶段性特征。研究表明,按突变程度大小排列主要突变词包括可持续发展、最严格水资源管理制度、取水许可、用水总量控制等,突变时间分别是2007、2011、2010、2009(见表3)。

(1)水资源可持续利用。2007年以前,在可持续发展研究的启发与指引下,“可持续发展”成为中国水资源管理学者普遍关注的焦点。我国学者对水资源的研究主要集中于水资源承载力、水资源配置、可持续利用、水资源保护等领域,这一方面是由于水资源研究的主题属性所决定,另一方面也是因为水资源研究的时代特征所决定。

表2 不同年份主要关键词及其出现频次

Table2 The major key words and its occurrence frequency in different years

年份	频次	主要关键词	年份	频次	主要关键词
2007	245	水资源管理	2013	12	评价指标体系
	240	水资源承载力		10	城镇化
	167	水资源配置		9	生态承载力
	160	可持续利用		5	经济增长
	138	水资源保护		4	生态足迹
2008	95	水资源利用	2014	11	影响因素
	49	长江流域		9	用水总量
	48	水资源承载能力		8	水生态
	38	水资源开发利用		7	考核办法
	38	节水型社会		6	水资源约束
2009	34	水资源管理制度	2015	5	利用效率
	30	水资源费		5	不确定性
	26	水资源利用效率		5	蓝水
	24	模糊综合评价		4	产业结构
	22	用水总量控制		4	水资源脆弱性
2010	34	水足迹	2016	47	喀斯特
	11	取水许可		15	石漠化
	9	国际河流		13	喀斯特地区
	8	影响		9	多样性
	7	社会经济		6	土壤养分
2011	29	用水效率	2017	4	投影寻踪评价
	17	三条红线		3	水资源资产
	15	最严格水资源管理制度		3	生态足迹
	15	熵权法		3	长江经济带
	14	主成分分析		2	干旱区
2012	16	北京市			
	10	水功能区			
	8	再生水			
	8	基尼系数			
	7	海河流域			

表3 不同年份关键词突变值及其出现频次

Table3 The key words mutation and its occurrence frequency in different years

序号	突变值	频次	中心度	关键词	年份
1	7.43	118	1.21	可持续发展	2007
2	5.23	15	1.07	最严格水资源管理制度	2011
3	5.01	11	6.09	取水许可	2010
4	4.84	34	7.23	水资源管理制度	2009
5	4.80	9	1.37	用水总量	2014
6	4.74	38	1.07	水资源开发利用	2008
7	4.42	10	1.13	水功能区	2012
8	3.34	12	1.57	生态承载力	2013
9	2.69	5	1.25	蓝水	2015
10	1.92	15	1.06	石漠化	2016

(2)最严格水资源管理。2007 年至今,受最严格水资源管理制度实施的影响,水资源的研究逐渐显露出“中国特色”和“时代特征”。最严格水资源管理制度于2009 年最早提出<sup>[15]</sup>。2011 年中央一号文件和中央水利工作会议,明确提出实行最严格的水资源管理制度,2012 年国务院颁发《国务院关于实行最严格水资源管理制度的意见》国发(2012)3 号,对实施最严格水资源管理制度作出全面部署和具体安排,使得水资源管理制度两度成为年度突变热点词。最严格水资源管理是在人水矛盾日益突出、水资源问题日益严重、水资源管理需求日益滞后的情形下提出的一项重要管理措施。

(3)取水许可。取水许可是体现国家对水资源实施权属的统一管理,是水资源管理的另一重要组成。取水许可涉及水资源调查、评价、规划、保护和监测等研究领域。随着2006 年4 月起实施《取水许可和水资源费征收管理条例》和2008 年4 月取水许可管理办法(水利部令第34 号)正式实施<sup>[18]</sup>,取水许可研究成为2010 年度突变词,并成为此后一阶段水资源管理研究领域的新方向。

(4)用水总量控制。用水总量控制是从规模上对水资源开发实施宏观管理,落实最严格水资源管理制度的一体两翼,是确保水资源可持续开发运用的关键制度。用水总量研究成为2014 年度突变词。用水总量控制是确保水资源开发利用规模与水资源承载能力,环境承载能力相适应的重要手段,是实行最严格水资源管理制度,落实水资源管理三条红线的重要组成<sup>[31]</sup>。

此外,除了前述的水资源研究对象和研究属性的热点突变以外,在水资源生态承载力、水功能区等领域,包括水资源利用的研究方法等方面也有一些新的突破,模糊综合评价、熵权法、主成分分析、投影寻踪评价等研究方法也成为高频关键词。

## 4 研究结论

本研究以 CNKI 数据库中的 CSSCI 数据库为数据来源,使用 Citesapce 软件绘制科学知识图谱,对近期我国水资源研究的时间分布、作者分布、研究机构分布、研究热点以及研究发展趋势和发展轨迹进行可视化分析,得出的研究结论如下:

第一,近十年来,我国水资源研究的总体论文数量呈曲折上升趋势,一直是学者们关注研究的热点。近期我国水资源的研究主要集中在水资源管理以及

水资源承载力两大方面,同时包括水资源配置,可持续利用,水资源保护,优化配置,气候变化等一些其它领域。(1)基础理论研究中,主要是对一些关键概念如水资源承载能力,水资源创新能力,以及水资源评价等领域的界定;(2)定量研究中,评价指标研究较多地使用了因子分析法以及主成分分析,研究方法经历了单指标到综合指标的发展,也经历了数理评价到系统动力学以及多智能体模拟与仿真的逐步变化过程;(3)对策研究,主要集中在根据当前的管理实践提出具有针对性的水资源保护、水资源开发利用以及水资源管理许可和三条红线等相关研究领域。

第二,采用共词聚类方法对热点主题进行分析,结果表明热点关键词前20个主题包括水资源管理、水资源承载力、水资源配置、可持续利用、水资源保护、节水型社会、水资源费、水资源利用效率、用水总量控制、水足迹、取水许可等。其中水资源管理、水资源承载力、水资源配置等5个主题一直受到重点关注;用水总量控制、取水许可等3个主题的研究从2010年开始成为研究热点并一直延续。除了前述的水资源研究对象和研究属性的热点突变以外,在水资源生态承载力、水功能区等领域,包括水资源利用的研究方法等方面也有一些新的突破,这一些方法的创新和研究对象属性之间的相互交织,成为现代水资源研究的新热点。

今后的研究中,如何在高速发展的社会变革背景下选择典型研究区域,采用新的研究方法和科学合理的评价体系,在水资源安全、水资源优化配置等领域构建完整的研究框架,强调运用数理模型进行定量研究,由多指标定量评价到多指标、多情景动态模拟转变,推进区域水资源管理创新是水资源领域研究的主要发展方向。

#### 参考文献:

- [1] 刘晓,陈隽,范琳琳,等.水资源承载力研究进展与新方法[J].北京师范大学学报(自然科学版),2014,50(3):312-318.(LIU Xiao,CHEN Jun, FAN Linlin,et al. Progress and a review of new methods in water resources capacity research [J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Science),2014,50(3):312-318.(in Chinese))
- [2] 党丽娟,徐勇.水资源承载力研究进展及启示[J].水土保持研究,2015,22(3):341-348.(DANG Lijuan,XU Yong. Review of research progress in carrying capacity of water resources [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2015,22(3):341-348.(in Chinese))
- [3] 陈新建,濮励杰.中国资源地理学学科地位与近期研究热点[J].资源科学,2015,37(3):425-435.(CHEN Xinjian,PU Lijie. Status and trends in resources geography research in China [J]. Resources Science, 2015,37(3):425-435.(in Chinese))
- [4] 许新宜,杨中文,王红瑞,等.水资源与环境投入产出研究进展及关键问题[J].干旱区地理,2013,36(5):818-830.(XU Xinyi,YANG Zhongwen,WANG Hongrui,et al. Review on water resources and environmental input-output analysis and its key study issues [J]. Arid Land Geography,2013,36(5):818-830.(in Chinese))
- [5] 陈太政,侯景伟,陈准.中国水资源优化配置定量研究进展[J].资源科学,2013,35(1):132-139.(CHEN Taizheng,HOU Jingwei,CHEN Zhun. Quantitative studies of the optimization allocation of water resources in China [J]. Resources Science,2013,35(1):132-139.(in Chinese))
- [6] 周亮广.水资源承载力研究进展与展望[J].水科学与工程,2009,(4):24-29.(ZHOU Lianguang. Some advances in study on water resource carrying capacity [J]. Water Sciences and Engineering Technology, 2009,(4):24-29. (in Chinese))
- [7] 王莉亚,张志强,尉永平,等.流域水资源管理研究论文计量分析[J].水利水电科技进展,2014,34(4):34-38+61.(WANG Liya, ZHANG Zhiqiang,WEI Yongping,et al. Bibliometrical analysis of international research of river basin water resources management[J].Advances in Science and Technology of Water Resources, 2014,34(4):34-38+61.(in Chinese))
- [8] 刘红梅,王克强,郑策.公众参与水资源管理研究综述[J].生态经济,2006,(8):28-31.(LIU Hongmei, WANG Keqiang ,ZHENG Ce. Review on the public participant in water resource administration [J]. Ecological Economy, 2006,(8):28-31.(in Chinese))
- [9] 夏恩君,宋剑锋.开放式创新研究的演化路径和热点领域分析—基于科学知识图谱视角[J].科研管理,2015,36(7):28-37.(XIA Enjun, SONG Jianfeng. An analysis on the evolution path and hot topics of open innovation based on the view of scientific knowledge map [J]. Science Research Management,2015,36(7):28-37.(in Chinese))
- [10] 秦晓楠,卢小丽,武春友.国内生态安全研究知识图谱—基于Citespace的计量分析[J].生态学报,2014,34(13):3693-3703.(QIN Xiaonan,LU Xiaoli,WU Chunyou. The knowledge mapping of domestic ecological security research:bibliometric analysis based on Citespace [J]. Acta Ecologica Sinica, 2014,34(13):3693-3703. (in Chinese))
- [11] 解建仓,席保军,黄俊铭.流域水资源保护补偿博弈分析及蚁群算法解[J].自然资源学报,2014,29(1):39-45.(XIE Jiancang ,XI Baojun, HUANG Junming. Game model for river basin water resources protection compensation solved by ant colony algorithm [J].Journal of Natural Resources, 2014,29(1):39-45.(in Chinese))
- [12] 左其亭.水资源适应性利用理论及其在治水实践中的应用前景[J].南水北调与水利科技,2017,15(1):18-24.(ZUO Qiting. Theory of adaptive utilization of water resources and its application prospect in water management practices[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology,2017,15(1):18-24.(in Chinese))

- [13] 王浩,游进军.中国水资源配置 30 年[J].水利学报,2016,47(3):265–271+282.(WANG Hao, YOU Jinjun. Progress of water resources allocation during the past 30 years in China [J]. Journal of Hydraulic Engineering,2016,47(3):265–271+282.(in Chinese))
- [14] 朱运海,彭利民,杜敏,等.区域水资源承载力评价国内外研究综述[J].科学与管理, 2010,30(3): 21–24.(ZHU Yunhai,PENG Limin,DU min, et al. On the evaluation of regional water resources carrying capacity [J]. Science and Management,2010,30(3):21–24. (in Chinese))
- [15] 左其亭,胡德胜,奚明,等. 基于人水和谐理念的最严格水资源管理制度研究框架及核心体系[J]. 资源科学,2014,36(5):906–912.(ZUO Qiting,HU Desheng,DOU Ming,et al. Framework and core system of the most stringent water resources management system based on the core concept of human water harmony [J]. Resources Science, 2014,36(5):906–912. (in Chinese))
- [16] 刘丽芳,许新宜,王会肖,等.土壤水资源评价研究进展[J].北京师范大学学报(自然科学版),2009, 45(Z1):621–625.(LIU Lifang,XU Xinyi,WANG Huixiao,et al. Advances in soil water resource assessment[J].Journal of Beijing Normal University (Natural Science), 2009,45(Z1):621–625.(in Chinese))
- [17] 姚章民,张建云.水资源评价研究进展[J].水文,2009,29(S1):24–27. (YAO Zhangmin,ZHANG Jianyun. Advance in research on water resources assessment [J]. Journal of China Hydrology, 2009,29(S1): 24–27.(in Chinese))
- [18] 冯英,李云飞.完善水权配置制度,加强水资源管理[J].北京科技大学学报(社会科学版), 2007,(2): 55–60 .(FENG Ying,LI Yunfei.Perfect the distribution system of water rights, reinforce the administration of water resources[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing (Social Sciences Edition), 2007,(2):55–60. (in Chinese))

## Knowledge Map Analysis of Water Resources Research in China Based on Science and Technology Text Mining Method

CHEN Siyuan<sup>1</sup>, LU Dandan<sup>1</sup>, CHENG Haimei<sup>2</sup>

(1. School of Business Management, Guangxi University of Finance and Economic, Nanning 530003, China;

2. Library of the Guangxi University of Finance and Economic, Nanning 530003, China)

**Abstract:** Taking 4263 core journals of domestic water resources management research papers included in the CNKI database during 2007–2017 as the data sources, the technology text mining analysis tool CiteSpace was adopted to analyze the time distribution, institutional distribution, author distribution, research hotspots and trends of scientific research papers on water resources in recent years, and the knowledge map of domestic water resources research was drawn. The results indicate that the number of China's water resources research papers has been shown a gradually increasing trend in the past ten years, and the relationship between the authors and between the research institutions have becoming closer. In addition, High frequency words, such as water resources management, water resources carrying capacity, water resources assessment, have been studied recently. And the words are closely related to the strict water resources management system, the water use permit and the total amount of water control which are related to the macro policy of water resources in China. The most stringent water resources management system and the construction of water ecological civilization will be the themes in the forseeing future.

**Key words:** science and technology text; mining; water resources; knowledge map analysis

(上接第 38 页)

events between 1st July and 23th September, 2014. This paper analyzed the main surface runoff pollutants in the urban areas of Wuxi, and compared the correlations between rainfall characteristics and event mean concentration of pollutants. The initial flush effect was also studied on typical rainfall events. The results indicate that surface runoff pollution is still serious despite the reconstruction project of rain and sewage diversion has been accomplished in the selected areas, and the main pollutants include COD, NH<sub>3</sub>-N and TP. Besides, the EMC has a significant positive correlation with rainfall density while it has not obvious correlation with other characteristics. In addition, the density in the early stage of rainfall affects greatly on initial flush effect.

**Key words:** urban surface runoff pollution; rainfall characteristics; EMC; initial flush effect