

基于 CiteSpace 的水安全研究现状与热点分析

曹永强, 齐静威, 王 菲

(辽宁师范大学地理科学学院, 辽宁 大连 116029)

摘要:基于文献计量 CiteSpace 可视化分析软件,以中国学术期刊网络出版数据库(CNKI)为数据源,对其 2001—2018 年间收录的关于水安全研究领域的相关文章进行检索分析,重点分析了相关文献的数量、作者合作、机构合作、关键词聚类分析以及热点词。结果表明:2001—2018 年水安全领域发文数量总体呈上升趋势,期间存在阶段性的起伏变化,2015 年为发文数量高峰期;水安全领域相关文献的发文作者及研究机构之间合作关系不够紧密,该领域内部学术合作需要进一步加强,以更好地解决水安全领域存在的问题;高频关键词聚类分为“指标体系”“水安全评价”“河湖管理”“海绵城市”“协同发展”等 11 个聚类,涵盖了水安全研究的大多数领域;研究热点集中在“水资源”“评价”“虚拟水”等方面,可以看出目前水安全领域研究中,水资源的安全评价以及可持续发展方向受到更多关注。该研究可进一步推测水安全领域未来发展的方向,以期水安全领域研究提供一定的参考。

关键词:CiteSpace;水安全;研究热点;水资源

中图分类号:TV213.4

文献标识码:A

文章编号:1003-9511(2019)06-0046-07

水安全问题相关概念最早提出于 20 世纪末,随着世界人口数量的不断增加以及各国经济的迅速发展,各种资源的消耗量不断增大,水资源的过度消耗和污染产生的局地短缺及水危机等现象引起了国际社会的广泛关注^[1-3]。“水安全”一词最早出现在 2000 年的斯德哥尔摩水讨论会^[4]。当前,对于水安全问题的研究主要倾向于水资源的可持续发展,相关文献数量明显增长。

水安全领域在国内外一直受到广泛关注,并随着水资源短缺以及水资源污染的加剧,水安全问题已经引起了各国的高度重视。国外对水安全的研究一直倾向于保持水资源的可持续发展,Latchmore 等^[5]以加拿大土著社区为研究对象,通过开发 IK 和 WS 参与的水安全工具,以评估水安全并且确保水资源的可持续发展;Thushara 等^[6]通过分析水资源的数量、质量以及与社会之间的关系,强调综合研究水安全问题以及科学管理水资源的重要性;Veetil 等^[7]基于 SWAT 模型,建立水资源安全指标时空变异性定量模型,评估了土地利用方式的转变以及气候变化对水安全的影响,结果表明受气候的变异

性影响,降水更多地控制蓝水资源,土地利用格局的变化更多地控制绿水资源。

国内对水安全的研究发展速度较快,成果显著,并且致力于把水安全的发展与国民经济紧密结合。康绍忠^[8]通过归纳水安全问题和粮食安全问题,分析了水安全与粮食安全的研究现状,并讨论了未来的发展方向,在粮食生产中科学保障水资源的高效利用;孙才志等^[9-10]利用虚拟水流量计算,对我国各地区“虚拟水战略”实施的普适性进行研究,并对水资源需求方面提出建议,主要包括饮水安全、防洪安全等;夏军等^[11]总结了我国 1978—2018 年水资源利用与保护发展历程,并对新时代发展需求以及雄安新区建设、“一带一路”建设等一系列研究热点领域的水资源利用与保护进行分析与展望。

科学知识图谱可以确定特定研究领域一定时间范围内的发展趋势,并且科学简单,方便更加高效地分析特定领域的研究状况。CiteSpace 软件是由陈超美博士^[12-13]应用 Java 计算机编程语言开发的信息可视化软件,专门用于学术文献分析,包含聚类分

基金项目:国家自然科学基金(51579126,51779114);大连市科技创新基金(2018J13SN116)

作者简介:曹永强(1972—),男,教授,主要从事水文水资源研究。E-mail:caoyongqiang@lnu.edu.cn

析、突现词分析等多种方法,在实际应用中有一定优势。虽然我国关于水安全领域的研究成果较多,但是关于水安全相关文献的总体概述比较缺乏。水安全作为国家资源安全的重要组成部分,对于国家其他安全领域例如生态安全、粮食安全等也是重要保障,如何更好地保证水安全,更合理地进行水资源的开发利用正日益成为大家关注的焦点。因此,本文在吸收借鉴前人研究的基础上,借助 CiteSpace 软件,对水安全领域的文献进行文献数量、发文机构、研究热点等统计分析,以期了解水安全领域的研究现状和最新发展趋势。

1 数据来源与分析工具

1.1 数据采集

以中国学术期刊网络出版数据库(CNKI)为检索平台,以“水安全”为主题进行精确检索,检索时间为2018年12月4日,检索时段为2001—2018年(截止时间为2018年11月30日),检索结果共2397条,对检索结果进行整理,删除无作者、会议记录、期刊会议征稿等文献,最终筛选出1702条结果。

1.2 分析工具

CiteSpace 是一款用于文献分析的可视化工具,知识图谱中每个节点的大小表示出现次数的多少,以及在相关领域做出的成绩和贡献,节点之间的连线代表节点间的关联度^[14]。目前,国内对水安全领域知识结构梳理的研究相对较少,本文将确定文献以 Refworks 格式导出,再导入 CiteSpace 软件进行可视化分析。

2 水安全相关文献结果分析

2.1 数量分析

图1为2001—2018年水安全领域的发文数量,由图1可知,我国水安全领域发文数量总体呈波动上升趋势。文献数量自2001年开始逐渐上升,到2006年出现平缓起伏,至2012年后继续增长。2012—2017年,从国内水安全领域整体来看发文量增多,2015年发表文献194篇,是发文量高峰期。究其原因,一方面,习近平总书记2014年就保障国家水安全问题提出了重要讲话,引起了我国学者对水安全领域的高度关注;另一方面,2014年底至2015年初,能够有效实现减流、削峰、控污及雨水利用的海绵城市建设试点全面启动^[15-18],全国推选产生第一批海绵试点城市,由此海绵城市方面的科研成果显著,也是水安全领域论文数量增长的原因之一。

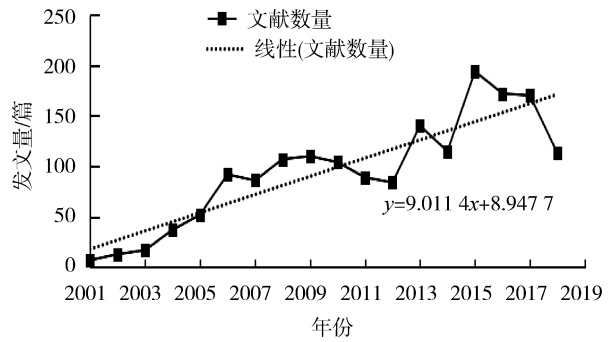


图1 2001—2018年水安全领域文献时间分布

2.2 发文作者合作分析

本文运用 CiteSpace 可视化分析软件对2001—2018年水安全领域的文献进行作者合作分析,得到作者合作知识图谱(图2)以及高频作者的统计表(表1)。



图2 2001—2018年水安全领域的研究作者合作知识图谱

表1 2001—2018年水安全领域研究的高频作者分布

序号	发文作者	发文频次	最高被引文献
1	陈雷	10	实行最严格的水资源管理制度保障经济社会可持续发展
2	刘新有	9	基于“基尼系数”的降水时间分布均匀变化研究
3	史正涛	9	沉积物粒度参数内涵及计算方法的解析
4	夏军	9	水文时序趋势与变异点的R/S分析法
5	李祚泳	8	投影寻踪新算法在水质评价模型中的应用
6	汪嘉杨	6	PSO算法优化BP网络的新方法及仿真实验
7	韩宇平	5	区域水安全评价指标体系初步研究
8	陈绍金	5	水安全概念辨析

图谱中共有112个节点,59条连接,网络密度为0.095,作者发文数量的多少决定了节点的大小。由表1可知,发文数量最多的作者是陈雷,发文10次,被引次数最高的文献是《实行最严格的水资源管理制度保障经济社会可持续发展》,作者认为要全面落实最严格的水资源管理制度,进一步强化水资源管理的保障措施^[19]。其次为刘新有、史正涛、

夏军、李祚泳等,均发文5次以上。从图2可以看出作者群的分布,其中以刘新有、史正涛^[20-22]为主的研究学者主要对城市水安全、水资源安全以及降水变化等进行评估,构建更完整的评价指标体系;夏军等^[23-27]研究学者主要研究了变化环境下水安全以及水资源承载力问题的发展;以李祚泳、汪嘉杨^[28-29]为主的研究学者为了建立科学合理、和谐统一的网络模型,提出了普适的函数公式;金菊良等^[30-33]研究学者针对水环境风险评价以及水安全问题建立了相关模型。

2.3 发文机构合作分析

通过 CiteSpace 可视化分析软件对 2001—2018 年水安全领域进行发文机构合作分析,可以研究中国水安全领域核心研究机构之间的合作关系。如图3所示,知识图谱中共有 79 个节点,25 条连接,网络密度为 0.008 1,从总体上看,研究水安全领域的机构众多,但是各机构之间的联系较少,说明各机构之间的合作交流关系不强,不利于水安全领域的长久发展。具体来看,图中出现了以中国水利水电科学研究院为核心,包含华北水利水电大学、云南师范大学水利水电学院等发文机构的合作网络关系,以及云南省水文水资源局和云南师范大学旅游与地理科学学院的合作网络关系。

按照发文数量前 8 名的机构统计表(表 2)分析,中国水利水电科学研究院发文次数最多(16 次),其次云南师范大学旅游与地理科学学院(11 次)、水利部发展研究中心(11 次)和郑州大学水利与环境学院(8 次)等为发文数量较多的研究机构。这些发文机构及机构主要作者都为水安全领域的研究作出了重要贡献。

表 2 2001—2018 年水安全领域研究发文频次前 8 位的机构

序号	发文机构	出现频次	机构主要作者	总发文量
1	中国水利水电科学研究院	16	王浩	413
2	云南师范大学旅游与地理科学学院	11	史正涛	154
3	水利部发展研究中心	11	柳长顺	79
4	郑州大学水利与环境学院	8	左其亭	199
5	中国科学院地理科学与资源研究所	7	周成虎	373
6	武汉大学水资源与水电工程国家重点实验室	7	夏军	215
7	河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室	7	郑源	469
8	云南省水文水资源局	6	王杰	86

2.4 关键词分析

关键词出现的频次可以反映出在水安全领域被引频次或者相关文献的数量^[34],而频次大小往往反映的是研究领域现状。对 2001—2018 年水安全领域的文献进行关键词分析,生成 Timezone 图谱(图 4),在同一时区内集合此时间段的节点,筛选出前 20 个关键词进行统计分析(表 3)。图谱中共有 308 个节点,677 条连接,网络密度为 0.0143。聚类分析得到网络模块化 Modularity 的评价指标 $Q = 0.6097$,说明网络聚类较好,网络同质性平均值 Mean Silhouette 为 0.3702,说明网络同质性较高,聚类结果切合。分析结果显示,水安全领域有 11 个聚类,本文主要对其中 3 个聚类进行分析说明,其中“指标体系”中介绍了水资源评价的相关方法,“河湖管理”中“河长制”与“湖长制”是当前我国水利系统重大的改革举措,“协同发展”是水安全领域基于合作共赢理念与其他学科相结合的新发展格局。

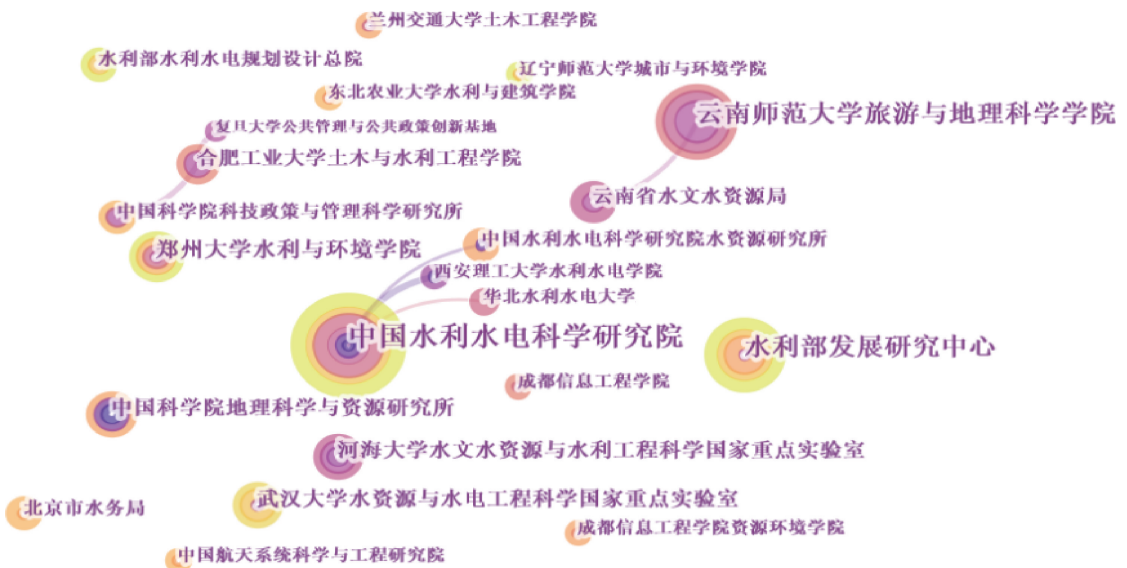


图 3 2001—2018 年水安全领域的研究机构合作知识图谱

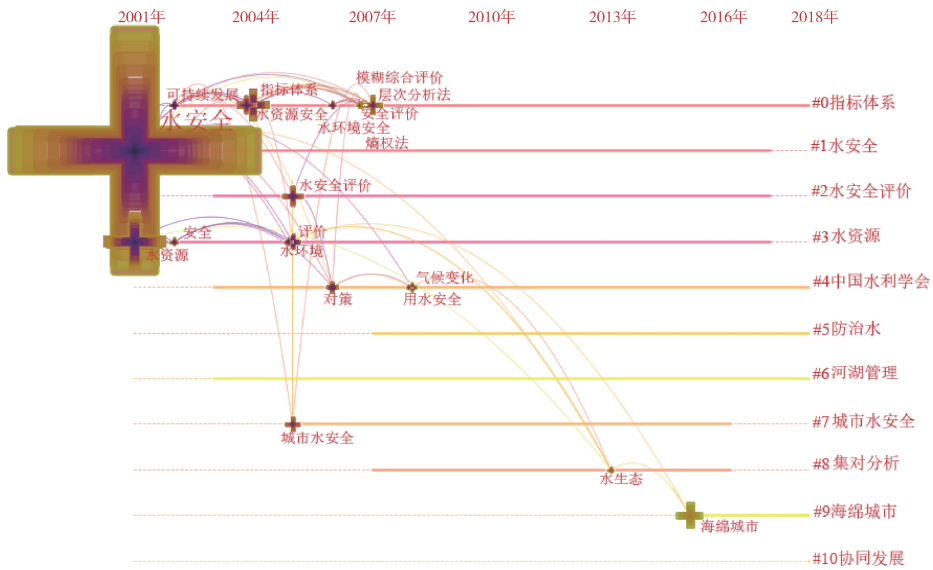


图 4 2001—2018 年水安全领域的关键词知识图谱

表 3 2001—2018 年水安全领域关键词统计

序号	关键词	出现次数	序号	关键词	出现次数
1	水安全	440	11	水环境	30
2	水资源	121	12	可持续发展	30
3	指标体系	69	13	对策	27
4	水安全评价	55	14	气候变化	25
5	层次分析法	48	15	安全评价	22
6	海绵城市	47	16	用水安全	22
7	水资源安全	46	17	水环境安全	21
8	评价	39	18	水生态	20
9	城市水安全	37	19	模糊综合评价	19
10	安全	31	20	熵权法	19

a. 聚类#0:将“水安全”“可持续发展”“指标体系”“水资源安全”“层次分析法”“水环境安全”等关键词归为一类。早期研究主要集中在“水安全”“水资源安全”“指标体系”等基础内容,随着水资源短缺及污染愈发严重,水安全领域开始涉及“层次分析法”“安全评价”“模糊综合评价”等水资源评价方法,有利于水安全问题的解决以及水资源的可持续发展。

b. 聚类#6:主要关注水安全领域中的河湖管理。孙继昌等^[35-36]详细分析了针对河湖管理和保护制定的河长制,介绍了河长制的创新特点。王晓红等^[37]主张科学合理地管理河湖水系海绵体,提出海绵城市的构建要依托河湖水系的健康。李原园等^[38-40]总结了国内外河湖水系连通经验,分析了河湖水系连通的发展趋势,由单一、局部、简单连通向综合、统一、复杂连通发展。

c. 聚类#10:协同发展由“城市规划”“水环境污染”“水资源保护”“生态文明建设”等关键词组成。随着国家越来越重视水资源以及生态环境的保护,水安全领域逐渐与“城市规划”“生态文明建设”联

系起来,这也促使水安全领域与其他学科领域协同发展。

根据图 4 和表 3 可以看出,关键词“水安全”出现的频次最高,达 440 次,其次为“水资源”(121 次)、“指标体系”(69 次)、“水安全评价”(55 次)、“层次分析法”(48 次)、“海绵城市”(47 次)、“水资源安全”(46 次)、“评价”(39 次)等,以上关键词说明了水安全领域的重要研究热点。可以发现,近年来我国对水安全的研究更为注重水资源节约以及水资源状态评价,即水安全评价的方法研究以及水安全评价指标体系的构建等^[41-42]。国家从战略和全局高度明确提出“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的治水新思路,水环境、水资源可持续发展以及水生态文明建设等方向成为新的研究热点,符合我国的水安全战略,有利于实现人与自然的和谐相处以及水资源可持续发展的目标。

3 水安全研究热点突现词分析

通过 CiteSpace 可视化分析软件对 2001—2018 年水安全领域的关键词进行热点突现分析,见表 4,筛选前 12 个关键词的强度,其基本原理是根据标题、关键词、摘要等的词频增长率来判断哪些是热点词汇,从而发现研究热点与发展趋势。结果表明,关键词“水资源”“水安全”以及“评价”的强度较高。

强度最高的突现词为“水资源”,起始于 2001 年,骤减于 2007 年。水资源短缺一直是我国比较严重的问题,此外,由于时空分布不均,我国南北方水资源与耕地及人口分布不匹配,水资源问题一直都是制约我国国民经济和社会发展的重要因素^[43-47]。尤其是 21 世纪以来,随着我国城市化发展

表4 2001—2018年水安全领域热点词突现

关键词	强度	起始年	骤减年	2001—2018年
水安全	6.1088	2001	2004	
水资源	11.4253	2001	2007	
可持续发展	3.5704	2002	2005	
预警	4.1091	2003	2006	
虚拟水	4.1452	2004	2005	
水环境	3.1782	2005	2006	
评价	5.8682	2005	2007	
城市	3.1999	2007	2009	
集对分析	2.9469	2008	2014	
生态安全	3.6565	2008	2010	
指标体系	3.8227	2009	2011	
水质	2.9533	2011	2012	

迅速,大量的人口进入城市,而城市供排水管网体系规模相对滞后,使得城市需水量和供水量不相匹配,极端降雨导致城市内涝越发严重。20世纪90年代以来我国发生了一系列如水污染、黄河断流、长江以及嫩江地区发生洪灾等水资源问题,引起我国全社会的关注与重视,并以“21世纪中国可持续发展水资源战略研究”为总项目进行研究^[48]。经过查阅发现,我国水资源全要素利用效率在2001年开始上升,逐步提高一直到2007年^[49]。2005—2007年,中华人民共和国水利部、中国工程院以及中国科学院共同启动了“中国水土流失与生态安全综合科学考察”,并获得了卓越成果^[50]。“水资源”突现词的研究激增与趋于稳定的时间大致与我国关于水资源的政策热点^[51]时间相同。

从时间序列来看,2008年以前的突现词为“水安全”“水资源”“可持续发展”“预警”“虚拟水”等,2008年以后的突现词为“集对分析”“生态安全”“指标体系”“水质”“水资源”和“集对分析”的持续时间最长。突现词“集对分析”起始于2008年,2014年呈下降趋势,集对分析已经在水安全领域广泛应用,热点词的结束也表明了集对分析法在水安全领域的应用进入成熟阶段。虽然水安全领域关注的具体问题有较强的跳跃性,但可持续发展和生态安全一直贯穿始终。根据我国政策指向和水资源可持续发展的现实需要,生态安全、指标体系、水质问题成为学者研究前沿。

4 结论及建议

4.1 结论

a. 从发文数量来看,2001—2018年国内关于水安全领域的相关文献发表数量总体呈波动增长趋势。以2012年为时间节点分为两个阶段,自2001年开始逐渐上升,到2006年出现平缓波动至2012年后继续增长。2012—2017年整体来看发文量增

多,2015年为发文数量高峰期,2015年以后发表文献数量下降。

b. 从研究力量构成来看,中国水安全领域研究学者之间联系并不紧密,发文数量多的作者较少。研究机构之间的合作网络也相对分散,只有部分比较集中,联系并不紧密,中国水利水电科学研究院发表文献的数量较多,中心性相对较强,在水安全领域占有重要位置。

c. 从高频关键词来看,高频关键词分为“指标体系”“水安全评价”“河湖管理”“海绵城市”“协同发展”等11个聚类,涵盖了水安全方向涉及的大部分领域,其中着重分析了“指标体系”“河湖管理”“协同发展”3个聚类。

d. 从研究热点突现词来看,强度最高的突现词为“水资源”,“水资源”突现词的出现与消失时间大致趋同于水资源政策的推出时间。水安全领域主要研究热点集中于水资源、评价等领域,未来在生态安全、可持续发展等领域也有很大的发展空间。

4.2 建议

通过以上分析,可以发现水安全研究领域正在逐渐拓宽,为未来的水安全研究奠定了良好的基础,水安全领域面临全新的发展机遇和挑战,未来水安全研究应着重关注以下几方面:

a. 在国家“一带一路”战略背景下,实现水资源的可持续发展是首要问题,如何解决水安全问题尤为重要。在未来发展中,不能只致力于开发水资源,因为水资源承载力有限,所以水安全问题的解决必须依托可持续发展理念,制定水资源可持续发展战略。

b. 我国水资源由于供需矛盾日益扩大,水质普遍退化以及水污染持续蔓延,水安全问题的解决更应得到重视。在未来我国应该完善水管理机制,对水资源短缺或污染地区进行实时监测,加大政府支持力度,大力培养水安全领域的专业人才,建立健全

的评价体系以及权威的评价监督机构,科学合理地解决水安全问题。

c. 水安全领域的研究方法应充分借鉴融合其他学科的理念,做到多学科的交叉结合。水安全领域的研究需要加强拓展及延伸,对复杂的研究方法进行综合系统的研究,完善我国水安全领域的知识脉络与结构体系。随着信息技术发展的加快,水安全领域需要实现与信息技术相融合,依托网络技术完善相关的监测和评价体系。

参考文献:

[1] 杨光明,孙长林. 中国水安全问题及其策略研究[J]. 灾害学,2008(2):101-105.

[2] 李博,甘恬静. 基于 ArcGIS 与 GAP 分析的长株潭城市群水安全格局构建[J]. 水资源保护,2019,35(4):80-88.

[3] 左其亭,郝林钢,刘建华,等. “一带一路”分区水资源特征及水安全保障体系框架[J]. 水资源保护,2018,34(4):16-21.

[4] 方子云. 提供水安全是 21 世纪现代水利的主要目标:兼介斯德哥尔摩千年国际水会议及海牙部长级会议宣言[J]. 水利水电科技进展,2001,21(1):9-10.

[5] LATCHMORE T, SCHUSTER-WALLACE C J, LONGBOAT D R, et al. Critical elements for local indigenous water security in Canada: A narrative review[J]. Journal of Water and Health,2018,16(6):214.

[6] THUSHARA G, DAVID H, GEORGE M, et al. Water security in practice: The quantity-quality-society nexus[J]. Water Security,2019(6):100022.

[7] VEETIL A V, MISHRA A K. Potential influence of climate and anthropogenic variables on water security using blue and green water scarcity, Falkenmark index, and freshwater provision indicator[J]. Journal of Environmental Management,2018,228:346-362.

[8] 康绍忠. 水安全与粮食安全[J]. 中国生态农业学报,2014,22(8):880-885.

[9] 孙才志,刘玉玉,陈丽新,等. 中国粮食贸易中的虚拟水流动格局与成因分析:兼论“虚拟水战略”在我国的适用性[J]. 中国软科学,2010(7):36-44.

[10] 孙才志,王中慧. 中国与“一带一路”沿线国家农产品贸易的虚拟水量流动特征[J]. 水资源保护,2019,35(1):14-19.

[11] 夏军,左其亭. 中国水资源利用与保护 40 年(1978—2018 年)[J]. 城市与环境研究,2018(2):18-32.

[12] CHEN Chaomei. CiteSpace II: Detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature[J]. Journal of the American Society for Information Science and Technology,2006,57(3):359-377.

[13] CHEN Chaomei. Searching for intellectual turning points: Progressive knowledge domain visualization [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences,2004,101(1):5303-5310.

[14] 曹永强,刘明阳. 基于 CiteSpaceV 的国内生态工程研究

文献的可视化分析[J]. 生态学报,2019(11):1-9.

[15] 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.

[16] 夏军,石卫,王强,等. 海绵城市建设中若干水文学问题的研讨[J]. 水资源保护,2017,33(1):1-8.

[17] 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.

[18] 王兴超. 地下水库在海绵城市建设中的应用[J]. 水利水电科技进展,2018,38(1):83-87.

[19] 陈雷. 实行最严格的水资源管理制度保障经济社会可持续发展[J]. 中国水利,2009(5):9-17.

[20] 曾建军,史正涛,刘新有,等. 基于集对分析的云南高原盆地城市水源地脆弱性评价[J]. 长江流域资源与环境,2014,23(7):1080-1086.

[21] 史正涛,刘新有,黄英. 城市水安全评价指标体系研究[J]. 城市问题,2008(6):30-34.

[22] 刘新有,史正涛,彭海英,于峰. 基于“基尼系数”的降水时间分布均匀度变化研究[J]. 气象研究与应用,2007(2):46-48+65.

[23] 夏军,翟晓燕,张永勇. 水环境非点源污染模型研究进展[J]. 地理科学进展,2012,31(7):941-952.

[24] 夏军. 水资源安全的度量:水资源承载力的研究与挑战(二)[J]. 海河水利,2002(3):3-7.

[25] 夏军,石卫. 变化环境下中国水安全问题研究与展望[J]. 水利学报,2016,47(3):292-301.

[26] 周君亮. 淮河下游水安全及其对策[J]. 水利水电科技进展,2011,31(4):13-19.

[27] 袁艳梅,沙晓军,刘煜晴,等. 改进的模糊综合评价法在水资源承载力评价中的应用[J]. 水资源保护,2017,33(1):52-56.

[28] 李祚泳,汪嘉杨,郭淳. 富营养化评价的对数型幂函数普适指数公式[J]. 环境科学学报,2010,30(3):664-672.

[29] 李祚泳,张正健,汪嘉杨,等. 基于水环境信息规范变换的水质普适指数公式[J]. 环境科学学报,2012,32(3):668-677.

[30] 金菊良,吴开亚,李如忠. 水环境风险评价的随机模拟与三角模糊数耦合模型[J]. 水利学报,2008(11):1257-1261.

[31] 金菊良,吴开亚,魏一鸣. 基于联系数的流域水安全评价模型[J]. 水利学报,2008(4):401-409.

[32] 乔丹颖,刘凌,闫峰. 基于云模型的中运河水安全评价[J]. 水资源保护,2015,31(2):26-29.

[33] 童芳,董增川,邱德华. 区域水安全系统评价新方法探析[J]. 水利水电科技进展,2008,28(2):30-34.

[34] 陈悦,陈超美,刘则渊,等. CiteSpace 知识图谱的方法论功能[J]. 科学学研究,2015,33(2):242-253.

[35] 孙继昌. 河长制:河湖管理与保护的制度创新[J]. 水资源开发与管理,2018(2):1-6.

[36] 夏继红,周子晔,汪颖俊,等. 河长制中的河流岸线规划与管理[J]. 水资源保护,2017,33(5):38-41.

[37] 王晓红,张艳春,张萍. 海绵城市建设中河湖水系的保护与生态修复措施[J]. 水资源保护,2016,32(1):72-74.

[38] 李原园,黄火键,李宗礼,等. 河湖水系连通实践经验与发展趋势[J]. 南水北调与水利科技,2014,12(4):

- [39] 高玉琴,肖璇,丁鸣鸣,等.基于改进图论法的平原河网水系连通性评价[J].水资源保护,2018,34(1):18-23.
- [40] 胡尊乐,汪姗,费国松.基于分形几何理论的河湖结构连通性评价方法[J].水利水电科技进展,2016,36(6):24-28.
- [41] 高军省,高绣纺,潘红忠.基于集对分析理论的水安全评价方法研究[J].长江大学学报(自然科学版),2009,6(3):44-47.
- [42] 潘争伟,金菊良,吴开亚,等.巢湖流域水安全评价的集对分析模型[J].水资源保护,2012,28(3):9-15.
- [43] 李九一,李丽娟.中国水资源对区域社会经济发展的支撑能力[J].地理学报,2012,67(3):410-419.
- [44] 刘佳骏,董锁成,李泽红.中国水资源承载力综合评价研究[J].自然资源学报,2011,26(2):258-269.
- [45] 谢高地,周海林,鲁春霞.我国自然资源的承载力分析

[J].中国人口·资源与环境,2005,15(5):93-98.

- [46] 左其亭.水资源承载力研究方法总结与再思考[J].水利水电科技进展,2017,37(3):1-6.
- [47] 王红瑞,洪思扬,秦道清.干旱与水资源短缺相关问题探讨[J].水资源保护,2017,33(5):1-4.
- [48] 中国工程院“21世纪中国可持续发展水资源战略研究”项目组.中国可持续发展水资源战略研究综合报告[J].中国工程科学,2000(8):1-17.
- [49] 钱文婧,贺灿飞.中国水资源利用效率区域差异及影响因素研究[J].中国人口·资源与环境,2011,21(2):54-60.
- [50] 夏军,翟金良,占车生.我国水资源研究与发展的若干思考[J].地球科学进展,2011,26(9):905-915.
- [51] 唐克旺.中国治水已进入大保护的新时代[J].水资源保护,2018,34(1):16-17.

(收稿日期:2019-04-24 编辑:胡新宇)

(上接第12页)

c. 经济增长带来人民生活水平的提高会充分释放居民对文化、健康等高层次服务的需求,以市场高层次需求为导向倒逼产业结构转型升级,间接实现生态效率进步。建立严格的外商投资准入制度,利用政府环境规制手段,限制生态污染型 FDI 的审批资格,积极引进生态友好型 FDI“安家落户”。

参考文献:

- [1] 周成,冯学钢,唐睿.区域经济-生态环境-旅游产业耦合协调发展分析与预测:以长江经济带沿线各省市为例[J].经济地理,2016,36(3):186-193.
- [2] 侯孟阳,姚顺波.中国城市生态效率测定及其时空动态演变[J].中国人口·资源与环境,2018,28(3):13-21.
- [3] 成金华,孙琼,郭明晶,等.中国生态效率的区域差异及动态演化研究[J].中国人口·资源与环境,2014,24(1):47-54.
- [4] COPELAND B R, TAYLOR M S. Trade, growth and the environment[J]. Journal of Economic Literature, 2004, 42(1):7-71.
- [5] 王飞,蒋文杰,李景保,等.皖江城市带产业结构与用水结构的互动耦合关系[J].水资源保护,2017,33(6):60-64.
- [6] 韩永辉,黄亮雄,王贤彬.产业结构优化升级改进生态效率了吗?[J].数量经济技术经济研究,2016,33(4):40-59.
- [7] GROSSMAN G M, KRUEGER A B. Economic growth and the environment[J]. NBER Working Papers, 1994, 110(2):353-377.
- [8] 王敏,黄滢.中国的环境污染与经济增长[J].经济学,2015,14(2):557-578.
- [9] 许和连,邓玉萍.外商直接投资导致了中国的环境污染吗?基于中国省际面板数据的空间计量研究[J].管理世界,2012(2):30-43.
- [10] 刘云强,权泉,朱佳玲,等.绿色技术创新、产业集聚与生态效率:以长江经济带城市群为例[J].长江流域资

源与环境,2018,27(11):2395-2406.

- [11] 李佳佳,罗能生.城市规模对生态效率的影响及区域差异分析[J].中国人口·资源与环境,2016,26(2):129-136.
- [12] KORTELAINEN M. Dynamic environmental performance analysis: A Malmquist index approach[J]. Ecological Economics, 2008, 64(4):701-715.
- [13] KUOSMANEN T, KORTELAINEN M, SIPIÄINEN T, et al. Firm and industry level profit efficiency analysis under incomplete price data: A nonparametric approach based on absolute and uniform shadow prices[J]. Microeconomics, 2005, 31:1-31.
- [14] 赵沁娜,王若虹.省际工业用水效率测度及空间关联特征[J].水资源保护,2017,33(5):42-47.
- [15] 刘晓君,闫俐臻.基于数据包络模型的西部水资源利用效率及影响因素研究[J].水资源保护,2016,32(6):32-38.
- [16] TONE K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 130(3):498-509.
- [17] HOLDREN J P, EHRLICH P R. Human population and the global environment[J]. American Scientist, 1974, 62(3):282.
- [18] 付丽娜,陈晓红,冷智花.基于超效率 DEA 模型的城市群生态效率研究:以长株潭“3+5”城市群为例[J].中国人口·资源与环境,2013,23(4):169-175.
- [19] 干春晖,郑若谷,余典范.中国产业结构变迁对经济增长和波动的影响[J].经济研究,2011,46(5):4-16.
- [20] GROSSMAN G, KRUEGER A. Economic environment and the economic growth[J]. Quarterly Journal of Economics, 1995, 110(2):353-377.
- [21] LEVIN A, LIN C, CHU C S. Unit root tests in panel data: Asymptotic and finite-sample properties[J]. Journal of Econometrics, 2002, 108(1):1-24.
- [22] JOAKIM W. Testing for error correction in panel data[J]. Oxford Bulletin of Economics & Statistics, 2006, 69(6):709-748.

(收稿日期:2019-04-24 编辑:胡新宇)