

DOI: 10.5846/stxb201803130490

韦飞黎, 李双成, 余武生, 谢爱丽, 侯文宇. 降水稳定同位素研究的历史与现状探讨: 基于文献计量学及网络分析方法. 生态学报, 2019, 39(7):

Wei F L, Li S C, Yu W S, Xie A L, Hou W Y. A review of stable isotope in precipitation studies based on bibliometric and social network analysis. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(7):

降水稳定同位素研究的历史与现状探讨: 基于文献计量学及网络分析方法

韦飞黎¹, 李双成^{1,*}, 余武生², 谢爱丽¹, 侯文宇¹

¹ 北京大学城市与环境学院 地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871

² 中国科学院青藏高原研究所 青藏高原环境变化与地表过程重点实验室, 北京 100101

摘要: 降水稳定同位素可以揭示降水的不同水汽来源和水汽的季节转换。通过建立降水稳定同位素与不同气象要素的关系, 可为区域水资源管理甚至可为生态修复中的植被恢复状态的研究提供重要的背景数据。为揭示降水稳定同位素研究的发展现状, 基于文献计量学以及网络分析方法运用 Citespace 软件对 1990—2017 年 Web of science 核心数据库中降水稳定同位素的相关文献进行可视化统计分析。发现降水稳定同位素相关的文献数量在呈逐年上升趋势, 主要分布在地质、气象与大气科学、海洋学、湖泊沼泽学、古生物学等相关学科, 美国、中国、德国、加拿大等国家以及中国科学院、美国地质调查局等研究机构文章数量较多, 表现出较强的科研实力。利用 Citespace 软件绘制了降水稳定同位素研究相关文献的共被引、研究作者的共被引等知识图谱, 对该研究领域知识基础及核心作者的影响力进行了探讨。图谱显示, 2007 年以来, Yao T、Risi C、Tian L 等人对降水稳定同位素的研究的推进起到了重要的推动作用。最后对该研究领域的关键词与词频等进行分析, 绘制出降水稳定同位素研究领域的研究热点演进脉络, 并确定 leaf water、Tibetan Plateau、cellulose、environmental change、tree ring、atmospheric circulation、groundwater recharge、hydrograph separation 等即将成为研究的新热点。近几年来, 虽然研究的文章数量在逐年增加, 但是核心作者及代表作品较少, 与社会的实际生产应用结合度不足。在未来研究中在注重方法的更新的同时可考虑与社会生产实际相结合。

关键词: 降水稳定同位素; Citespace; 文献计量学; 网络分析; 可视化

A review of stable isotope in precipitation studies based on bibliometric and social network analysis

WEI Feili¹, LI Shuangcheng^{1,*}, YU Wusheng², XIE Aili¹, HOU Wenyu¹

¹ Key Laboratory for Earth Surface Processes of the Ministry of Education, College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China

² Key Laboratory of Tibetan Environment Changes and Land Surface Processes, Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

Abstract: Stable isotopes in precipitation can reveal different sources as well as seasonal transition of water vapor. Studying the relationship between the stable isotope in precipitation and different meteorological factors can provide important background data for regional water resource management and ecological restoration of vegetation. To elucidate the development of stable isotope in precipitation in modern times, this study based on bibliometrics, network analysis, and Citespace software performed the visualization analysis of the literature data collected from Web of Science during 1990 and

基金项目: 国家自然科学基金项目(41371096, 41130534)

收稿日期: 2018-03-13; 网络出版日期: 2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: seli@urban.pku.edu.cn

2017. It was found that the number of literatures about stable isotope in precipitation is increasing year by year, mainly focused on subjects, such as geology, meteorology and atmospheric sciences, oceanography, limnology, and paleontology. The research strength mainly concentrates in USA, China and Germany, and other research institutions showing a strong scientific research strength, such as Chinese Academy of Sciences, the United States Geological Survey, and so on. The Citespace software was used to draw a map of the co-cited literature, co-authors, research area, and influence of core authors. The result shows that the researchers Yao T, Risi C, and Tian L have played important roles in promoting the study of stable isotopes in precipitation since 2007. The keywords, such as leaf water, Tibetan Plateau, cellulose, environmental change, tree ring, atmospheric circulation, groundwater recharge, and hydrograph separation will soon become the novel research topics. In recent years, although the number of articles has been increasing year by year, the number of core authors and their representatives is relatively small. Furthermore, it is not sufficient to combine theory with application in our society; this problem would require our immediate and constant attention in the future.

Key Words: stable isotope in precipitation; Citespace; bibliometrics; network analysis; visualization

大气降水是水循环的重要环节,是大气圈和水圈之间物质与能量交换过程中重要的因子之一,其变化尤其受到温度、湿度、水汽来源等影响。因此,对降水稳定同位素的研究,弄清局地降水稳定同位素与不同气象要素之间的关系,可为局地不同植被利用水资源的状况等的研究提供重要的依据,甚至可为生态修复中的植被恢复状态的研究提供重要的背景数据。

自 1964 年 Dansgaard^[1] 利用全球降水稳定同位素监测计划 (Global Network of Isotopes in Precipitation, GNIP) 资料建立了全球平均年降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 与地表气温之间的线性关系,并由此提出过量氘的概念至今,国际上稳定同位素水文循环研究取得了很大的进展。降水稳定同位素从 20 世纪 60 年代对观测结果的描述^[1] 到同位素分馏理论的发展^[2-4],野外实地观测与区域水文模型耦合^[5-14],再到降水稳定同位素观测和古气候记录与 GCM^[15-16] 的结合研究,由对降水稳定同位素的研究到各圈层水体稳定同位素相结合^[8,17-20] 以及产生降水的各种动力机制^[21-23] 的研究,稳定同位素气候水文学已成为一个重要的研究方向。

在中国,降水稳定同位素的研究工作开展较晚,20 世纪 70 年代中期才开始起步,但自从 20 世纪 80 年代中期开始,随着广州、昆明、石家庄、西安、和田、拉萨等 30 多个站点加入 GNIP 观测计划以来,尤其是 1991 年中国学者启动了 TNIP (Tibetan Plateau Network of Isotopes in Precipitation) 计划以来,中国降水稳定同位素开始得到快速的发展^[24-27],并紧跟上国际降水稳定同位素的步伐。

为了更全面的了解降水稳定同位素理论和方法的应用状况,本研究运用 Citespace 软件对降水稳定同位素进行相关统计与分析。与其他软件相比,Citespace 软件具有容易对文献之间进行共现分析(即相关分析)、操作简单并能将共现分析结果与 Excel 相结合等众多优点。基于 Citespace 软件运用文献计量学以及网络分析方法对 web of science 核心数据集中 1990—2017 年水体氢氧稳定研究的相关文献进行统计分析和可视化处理,对 20 多年来国内外降水稳定同位素研究进行综述,主要从研究的学科领域和地区的分布、不同作者文章的发表情况、关键词随时间的演变以及核心文章进行分析,主要目的是解决以下问题:1) 该研究领域研究的前沿以及热点问题是什么? 2) 该研究领域的研究趋势以及存在的问题是什么? 通过探索本研究领域的总体发展趋势,为未来不同水体稳定同位素的研究提供参考和依据。

1 研究方法数据来源

基于文献计量学和网络分析法,结合美国德雷塞尔大学陈超美博士基于 Java 平台研发而成的 Citespace 统计和可视化软件^[28],以降水稳定同位素为研究对象,搜集、加工整理相关的文献,并进行共现分析(相关性分析),包括共词(关键词的共现)和共被引(参考文献以及作者的共现)等,对文章主题进行分析聚类,揭示关键词所代表的内容之间的关联,从而提取本研究领域的研究热点,把握本领域发展历程及趋势,并运用同样的

方法对共被引进行分析,揭示本研究领域研究学者之间的网络关系。

本文选取信息索引数据库 web of science 核心数据库作为检索平台,对文献进行搜索。为保证检索数据全面覆盖与降水稳定同位素有关的研究内容,在 Web of science 中主题词(Article)设定为:“stable isotope”“and”(用“and”连接两个关键词)“precipitation”或者“deuterium Excess”“and”“precipitation”或者“oxygen isotope”“and”“precipitation”或者“precipitation isotope”。时间跨度 1990 年 1 月 1 日—2017 年 12 月 16 日,每个时间切片为 3 年,语言选择英语进行精炼。检索所得的记录包括作者、篇名等文献全记录以及引用的参考文献,搜索得到 6229 篇,经过逐一筛选,剔除无关的文章以及合并重复的文章,最后剩下 6222 篇。以上搜索的文献数据最后的更新时间为 2017 年 12 月 16 日。

对检索过程和 citespace 的运行结果进行分析时,对一些意义相近的词汇如“stable isotope in precipitation”与“precipitation isotope”等进行合并,保证分析结果的简洁性与可靠性。

2 结果与分析

2.1 学科统计

1990 年至今,SCI 数据库中降水稳定同位素研究文献在学科上分布情况如图 1 所示。从图 1 中发现,文章数量分布的研究领域中最最多的是地质学,共 2193 篇,占到总数的 35.61%,在水资源学领域共 870 多篇,排在第二,占到总数 14.13%,环境科学领域 859 篇,占到 13.95%。文章数量在 800 篇以上的学科自然地理学,总共 825 篇。从表 1 中可看出,在排名靠前的地质学、水资源学等这些研究领域的 sigma 值都 ≥ 1 (sigma 值表示事物所在的结构或功能上的重要程度,当 sigma 值 ≥ 1 时,表明事物在结构或功能上就有非常重要的地位,值越大,重要性越强;相反,当 Sigma < 1 时,表明事物在结构或功能上的重要性就很弱),说明降水稳定同位素在上述研究领域占有重要的地位。但是有爆发点且爆发值(一般爆发值 ≥ 1 时,表明某事物在短时间内增加的速度很快)从高到低排列的是气象与大气科学(7.65)、海洋学(7.25)、湖泊沼泽学(5.88)和古生物学(3.86)(表 1),爆发值越大,说明近几年降水稳定同位素在这些研究

领域增加的速度越快。因此,近几年来,降水稳定同位素在气象与大气科学领域得到快速发展,其次是海洋学,紧跟其后的是湖泊沼泽学、古生物学。究其原因:降水稳定同位素被称为“指纹”,可以示踪水汽来源,揭示海陆间大气环流,并可以结合河流、湖泊等不同水体稳定同位素的时空变化揭示局地水汽再循环。尤其是,近年来卫星、遥感的发展,使得海陆间大范围的气象监测较为便捷,甚至可以通过卫星来直接监测大气水汽稳定同位素,因此促进了对降水稳定同位素的大尺度研究。此外,降水稳定同位素的变化受到温度、气压、湿度、降水量等影响,通过建立现代降水稳定同位素与温度、相对湿度、气压、降水量等不同气象要素的关系,可以为冰芯、树轮、洞穴沉积物等古气候记录的解译提供更好的依据。

2.2 时间分布

从图 2 分析可知,在 Web of science 数据库中,降水稳定同位素呈逐年上升的趋势。在 2005 年以前,降水稳定同位素文章数量增长速度较慢,但是 2005 年以后,尤其是 2010 年以来,文章的数量迅速更加,并在 2016 年达到了最高峰(579 篇)(由于 2017 年只统计到 12 月 16 日)。

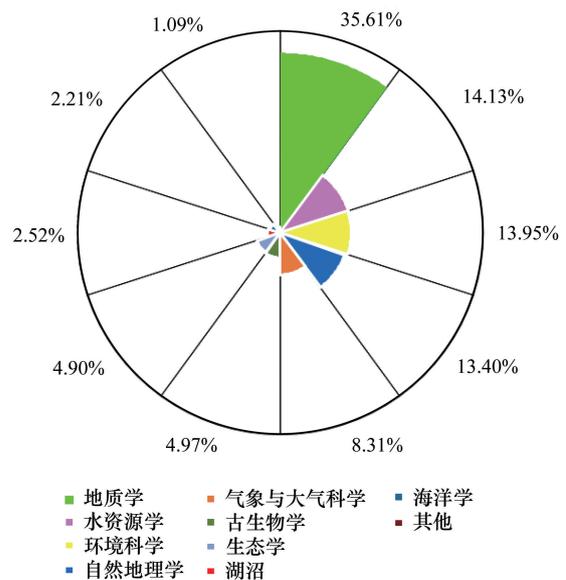


图 1 SCI 数据库中降水稳定同位素研究文献分布情况(按学科)

Fig.1 Distribution of stable isotope in precipitation research literatures in database of SCI (distributed by discipline)

表 1 SCI 数据库中降水稳定同位素研究文献分布情况 (按学科)

Table 1 Distribution of stable isotope in precipitation research literatures in database of Web of Science (distributed by discipline)

篇数/篇 Number of articles	爆发值 Burst value	中心度 Centrality	Sigma 值 Sigma value)	学科归类 Subject classification
2193		0.11	1	地质学
870		0.05	1	水资源学
859		0.17	1	环境科学
825		0	1	自然地理学
512	7.65	0	1	气象与大气科学
306	3.86	0	1.01	古生物学
301		0.01	1	生态学
155	5.88	0.03	1.19	湖沼
137	7.25	0.04	1.33	海洋学
64				其他

2.3 国家/地区分析

根据作者的地址资料提取经纬度信息,对发表文章的不同国家/地区进行分析。从统计结果看,降水稳定同位素的研究人员主要分布在全球 100 多个国家和地区。发表文章数在 2 篇以上的有 77 个国家,1990 年以来发表文章总数排在前十的国家详见表 2。从表 2 可知,从 1990—2017 年发表文章总数最多的是美国,总共 2089 篇,占到文章综述的 34.53%,第二位是中国,总共 980 篇,占到 15.93%,加拿大 612 篇,占到 9.82%。中国降水稳定同位素研究虽然起步较晚,但发展速度较快。从全世界的基金资助机构可以看出,中国降水稳定同位素的快速发展离不开中国国家自然科学基金(National Natural Science Foundation of China, NSFC)、中国科学院等的大力支持。在全世界排名前十的支持机构中,中国占了 4 个,受中国国家自然科学基金资助(排在第一位)发表的文章数目(376 篇)远远超过了受 National Science Foundation(NSF)资助(第二位)发表的文章数目(183)。这说明中国的这些科研成果得益于中国政府的重视,同时也显示了中国在水体稳定同位素领域科研能力的提升。

从引用爆发值和 sigma 值角度分析,发现虽然我国文章的数量排在第二位,但是中国文章没有爆发值, sigma 值也比较低,低于美国、法国、英国和加拿大(表 2)。由此可知,美国、法国、英国、加拿大等国家已发表论文的影响力较高。中国降水稳定同位素相关的文章的质量以及影响力还有待提高。

表 2 发表文章篇数排在前十的国家情况

Table 2 The number of articles published in the top ten countries

篇数 Number of articles	爆发值 Burst value	Sigma 值 Sigma value	国家 Country	篇数 Number of articles	爆发值 Burst value	Sigma 值 Sigma value	国家 Country
2089	9.3	3.17	美国	506	4.72	1.64	英国
980		1	中国	347		1	瑞典
927		1	德国	341		1	澳大利亚
583	5.65	1.24	加拿大	291		1	日本
555	6.43	2.23	法国	241		1	意大利

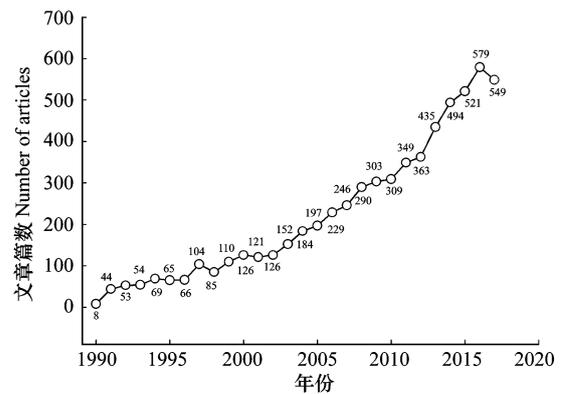


图 2 Web of science 数据库水体稳定同位素研究文献分布情况 (按时间)

Fig. 2 Distribution of stable isotope in precipitation research literatures in database of Web of Science (distributed by time)

从文章作者的空间密度分布上看(图3),降水稳定同位素研究的作者主要集中在欧洲的中西部地区,美国的中、东部和西部沿海地区、加拿大的东南部,韩国、日本以及中国的中、东部地区,澳大利亚的东部和东南部沿海地区。而这些地区共同的特征为气候较湿润,海陆之间相互作用较明显,选择这些地区研究降水稳定同

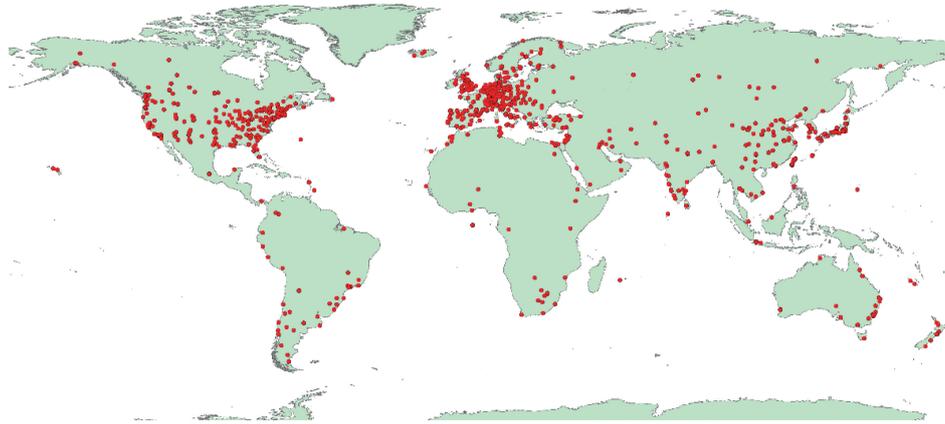


图3 已发表降水稳定同位素文章的作者的国家和地区分布情况(红点表示文章作者的位置)

Fig.3 Distribution of published article's author (Note that the red solid circle indicates the location of the author)

位素,有利于揭示水汽传输过程以及大尺度的海陆热力环流的影响。

2.4 核心文献及作者分析

文章共被引频次代表了相关文献的影响力,频次越高则文献的影响力越大。中心节点文献是相关研究从一个方向向另一个方向的转变的联结点,对未直接连接的节点和研究内容相近的文献的聚类起着关联作用^[28]。中心度 ≥ 0.1 的节点可认为是高中心度的节点。高中心度的节点处于相关领域研究的核心文献^[28]。表3选出了被引频次靠前的12篇文章,并且这些文章的中心度均 ≥ 0.1 ,说明这些文献都是降水稳定同位素

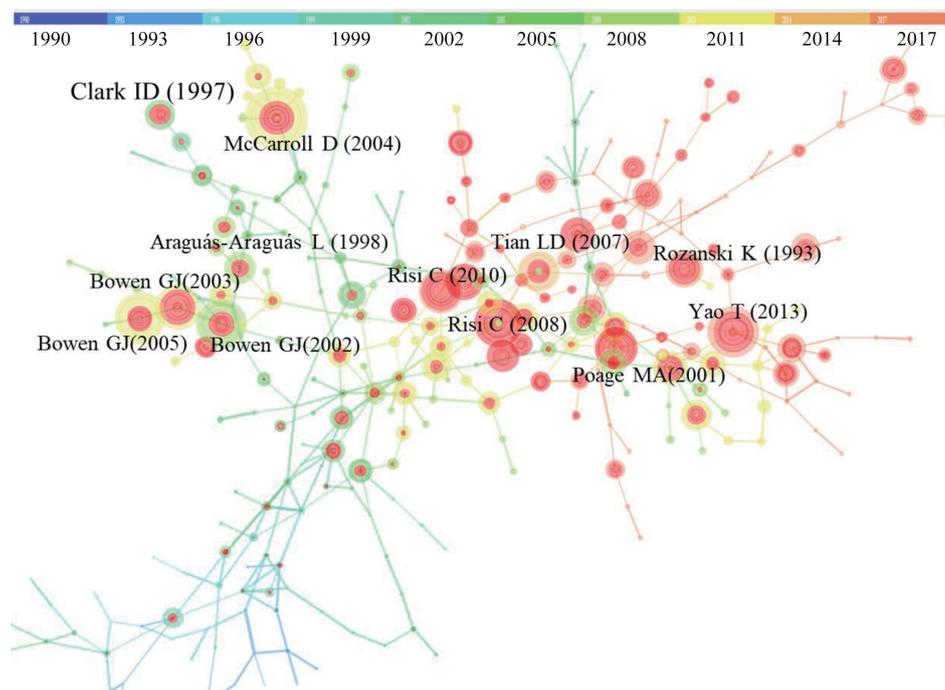


图4 被引频次在47次以上的文章

Fig.4 Articles was cited more than 47 times

的核心文献之一。图 4 是被引频次在 47 次以上的文章, 每一个节点就是一篇文章, 节点越大, 共被引的次数越多, 文章之间连接的线是最初被引的时间(线的颜色对应时间轴上的颜色)。

由表 3 及图 4 可知文章被引最多的是 McCarroll 等^[29], 总共被引 104 次, 这篇文章主要利用降水稳定同位素能够追踪水汽来源的原理通过树轮氢氧稳定同位素建立与温度、相对湿度的关系来重建古气候, 为古气候温度等的重建提供了一个新的思路。排在第二位的是 Bowen^[30] 等 2002 年发表在地质学(Geology)上的文章, 主要讲述降水稳定同位素的空间分布特征及深入研究和验证影响模型的因素^[30], 对后人研究降水稳定同位素以提供了理论的依据。Aragués-Aragués 等^[31] 从大范围研究尺度着手对亚洲东南部降水稳定同位素的时空变化规律及其机理解释, Rozanski 等^[5] (虽然被引频次未排在前十, 但是其爆发值及 sigma 值都很高) 根据全球 219 个站点长期观测的降水稳定同位素数据, 获得算术平均值以及加权平均值的 $\delta^{18}\text{O}$ 和 δD 之间的线性关系, 这些都进一步完善和发展了降水稳定同位素的理论研究。Hoffmann 等^[15] 以及 Risi 等^[9-10] 则从与模型的角度相结合对降水稳定同位素进行研究, 尤其是 Risi 等^[9, 11-12] 成功运用各种模型模拟对降水稳定同位素进行解释与预测, 使得降水稳定同位素研究的方法与手段更加丰富。Yao 等^[32] 通过观测数据与各种不同的模型模拟结果对比, 将青藏高原划分为季风模态、过度模态、西风模态等 3 个模态。Tian 等^[33] 则通过降水、河水稳定同位素分析, 发现在青藏高原季风向北推进的范围为 35°N 。由上述被引用较高的文献研究的内容不难看出, 对基础理论、与模型模拟相结合、研究大尺度范围以及有重大发现并能反应客观规律的研究往往被大家引用的较多。但是从表 3 容易看出, 核心文章以及核心作者主要集中在 2010 年以前, 2010 年以后核心作者较少, 说明后期研究影响力相对不足。

表 3 1990—2017 年核心文献及代表作者

Table 3 Core documents and representative authors from 1990 to 2017

作者 Author	共被引频次 Co-cited frequency	爆发值 Burst value	Sigma 值 Sigma value	文章名称 Article name	发表年份 Year of publication
McCarroll D	105	32.16	19.29	Stable isotopes in tree rings	2004 ^[29]
Bowen GJ	87	18.68	1.54	Spatial distribution of $\delta^{18}\text{O}$ in meteoric precipitation	2005 ^[31]
Risi C	82	11.36	9.94	Influence of convective processes on the isotopic composition ($\delta^{18}\text{O}$ and δD) of precipitation and water vapor in the tropics; 2. Physical interpretation of the amount effect	2008 ^[9]
Bowen GJ	77	26.69	5.89	Interpolating the isotopic composition of modern meteoric precipitation	2003 ^[34]
Risi C	76	13.23	6.08	Water-stable isotopes in the LMDZ4 general circulation model; Model evaluation for present - day and past climates and applications to climatic interpretations of tropical isotopic records	2010 ^[12]
Risi C	72	11.93	3.14	Understanding the Sahelian water budget through the isotopic composition of water vapor and precipitation	2010 ^[11]
Tian LD	70	14.49	3.27	Stable isotopic variations in west China: A consideration of moisture sources	2007 ^[33]
Poage MA	59	23.53	3.14	Empirical Relationships Between Elevation and the Stable Isotope Composition of Precipitation and Surface Waters; Considerations for Studies of Paleoelevation Change	2001 ^[35]
Yao TD	56	22.53	39.11	A review of climatic controls on $\delta^{18}\text{O}$ in precipitation over the Tibetan Plateau; observations and simulations	2013 ^[32]
Clark ID	51	27.87	1.56	Environmental isotopes in hydrogeology	1997 ^[4]
Aragués-Aragués L	47	25.92	3.39	Stable isotope composition of precipitation over southeast Asia	1998 ^[31]
Rozanski K	39	5.83	1.64	Isotopic patterns in modern global precipitation	1993 ^[5]

从爆发值和 sigma 值角度分析, 被引用排在靠前的文章中爆发值和 sigma 值都很高(表 3), 由此可以看出, 这些被引率排在靠前的文章其研究内容往往代表了该研究领域的前沿。由图 5 可知, Yao 等^[32]、Tian

等^[33]、Rozanski 等^[5]和 Risi 等^[9,11-12]的文章出现明显的红圈,这表明这些文章在短时间内被引频次较多,说明这些研究内容随着时间的推移在不久的将来可能成为热点。综合文章被引频次、爆发值以及 sigma 值等,排名靠前的核心文献的研究作者对降水稳定同位素的研究起到至关重要的作用。由表 3 及图 5 可知,2007 年以来,Yao、Risi、Tian 等人对降水稳定同位素研究起到重要推动作用。

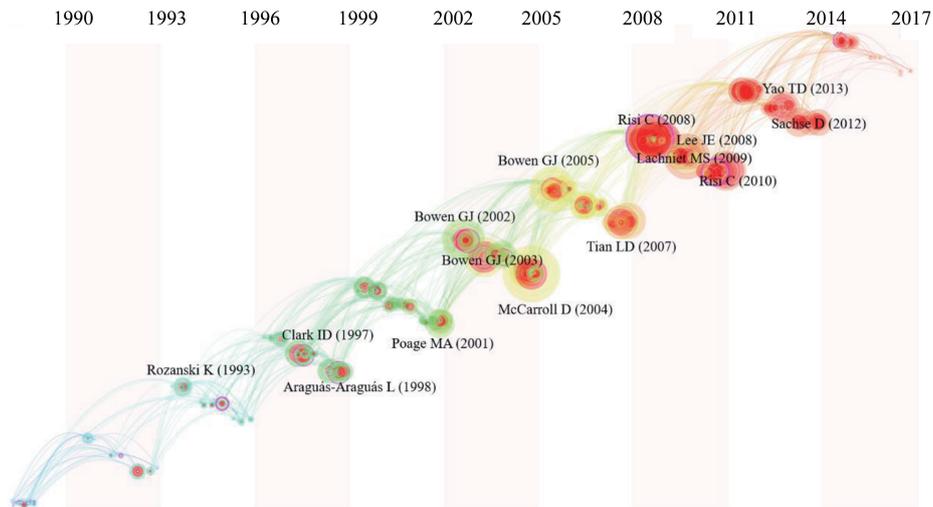


图 5 核心文献被引演进网络图(1990—2017)

Fig.5 Cited core documents evolution map from 1990 to 2017

2.5 降水稳定同位素研究热点的演进脉络及前沿探析

由于关键词是对核心内容的提炼与浓缩,不同文献中反复出现的关键词可以视为该研究领域的研究热点,因此通过对共被引关键词和词频以及文献术语之间的连接强度进行统计分析,可以得出所研究领域的热点和发展趋势^[28]。本文基于 Citespace 软件对降水稳定同位素研究相关文献的关键词共现频次进行统计,选择膨胀词探测技术及探索关键路径算法(Pathfinder)和网络路径简化算法,将频次变化较高的术语探测出来,并对词频的时间变化趋势进行分析,绘制出降水稳定同位素研究热点的演进脉络(图 6),并提取了共现频次最多的关键词属性表(表 4)和在演进过程中爆发值较高、中心度较大(表 4 和表 5 所以关键词的中心度都大于 0.1)。关键词的中心度越大,代表该节点的关键词共现的频次越高,即为该研究领域的研究热点。由于表中数据较多,本研究按照从高到低排列,只选取了排在前 16 位的关键词(表 4)。

表 4 出现频次排在前 16 位的关键词

Table 4 The top 16 ranked of keywords

频次 Frequency	关键词 Keyword	首现年份 First appearance time	频次 Frequency	关键词 Keyword	首现年份 First appearance time
2542	stable isotope	1990	410	climate change	1998
1688	precipitation	1991	372	groundwater	1994
738	water	1990	353	record	1995
618	oxygen	1991	320	deuterium	1990
549	oxygen isotope	1992	305	delta O ¹⁸	2000
514	climate	1991	286	variability	2002
457	fractionation	1992	281	ratio	1992
413	temperature	1991	260	paleoclimate	1998

从表 4 和图 6 可以看出,1990 年以来,关键词共现频次最多的是 stable isotope、precipitation、water 等,尤其是 stable isotope 和 precipitation 等关键词,在降水稳定同位素研究领域始终占据了最核心的地位,贯穿了整

个降水稳定同位素的发展时间轴。但是,随着时间的推移,渐渐出现一些新的关键词(图6),例如 leaf water、Tibetan Plateau、cellulose、environmental change、tree ring、atmospheric circulation、groundwater recharge、hydrograph separation、summer monsoon。通过导出的属性表分析,这些关键词的爆发值和 sigma 值都很高(summer monsoon 由于是 2017 年刚呈现爆发趋势,未能探测出爆发的具体值),由此可以确定新出现的这些词即将成为研究的热点。这表明在今后的发展过程中,与植物圈(树轮、叶片水稳定同位素^[36])、水圈(地下水)、大气圈等不同圈层相结合的研究以及利用稳定同位素对不同水汽来源的分割、对青藏高原的研究等即将成为前沿的研究领域。

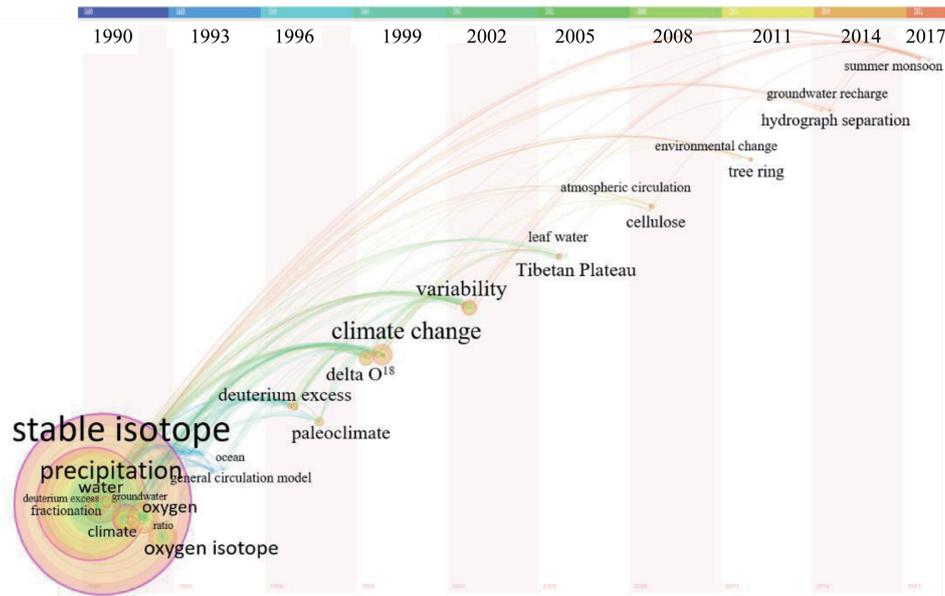


图6 降水稳定同位素研究关键词演进网络

Fig.6 Keyword evolution map related to stable isotope in precipitation

表5 爆发值较高的关键词

Table 5 The high burst of keywords

共现频次 Co-occurrence frequency	爆发值 Burst value	Sigma 值 Sigma value	关键词 Keyword	首现时间 First appearance time
18		1	summer monsoon	2017
55	19.63	1.02	hydrograph separation	2014
52	18.56	1.01	groundwater recharge	2014
39	20.14	1.01	tree ring	2011
25	12.9	1	environmental change	2011
96	11.93	1.43	cellulose	2008
49	18.26	1	atmospheric circulation	2008
177	9.12	1.01	Tibetan Plateau	2005
18	10.49	1	leaf water	2005
72	11.43	1.03	monsoon	2002
168	11.51	1.28	deuterium excess	1999
72	8.01	1.18	general circulation model	1993
39	18.85	1.02	ocean	1993

3 总结及研究展望

通过借助网络分析方法和 Citespace 软件的可视化分析功能,对 1990—2017 年间降水稳定同位素研究概

况进行统计与可视化分析,并对一些重要的文献进行解读。分析发现,目前降水稳定同位素领域研究呈现出如下特点:

(1)近年来,降水稳定同位素在气象与大气科学领域得到快速发展,其次是海洋学,紧随其后的是湖泊沼泽学、古生物学。

(2)研究降水稳定同位素(已发表文章)的作者空间分布特征:主要分布在欧洲的中西部地区,美国的中、东部和西部沿海地区、加拿大的东南部,韩国、日本以及中国的中东部地区,澳大利亚的东部和东南部沿海地区—气候较湿润的地区。中国降水稳定同位素的文章数量虽多,但是总体上文章的影响力有待提高。

(3)对基础理论、与模型模拟相结合、研究大尺度范围以及有重大发现并能反应客观规律的研究往往被大家引用的较多。核心作者以及代表作品主要集中在早期,2007 年以来,Yao T、Risi C、Tian L 等人对降水稳定同位素研究起到重要推动作用。

(4)leaf water、Tibetan Plateau、cellulose、environmental change、tree ring、atmospheric circulation、groundwater recharge、hydrograph separation 等即将成为研究的新热点;与植物圈、水圈、大气圈等不同圈层相结合的研究以及利用稳定同位素对不同水汽来源的分割、对青藏高原的研究等即将成为前沿的研究领域。

通过对降水稳定同位素相关文章的共被引、关键词以及重要文献的分析,发现降水稳定同位素的研究除了有以上的特点外,还存在一些问题。这主要体现在:大部分研究主要集中在自然基础知识研究领域,与社会经济发展和实际应用的结合度不够。例如,未探测到与城市有关的热门词汇,在搜索到的重要文献中未发现与城乡梯度变化、利用水体稳定同位素验证生态植被恢复状况等有关的研究,在以后的研究中可以尝试把降水稳定同位素的研究与社会发展的实际需求结合起来。

参考文献(References):

- [1] Dansgaard W. Stable isotopes in precipitation. *Tellus*, 1964, 16(4): 436-468.
- [2] Craig H. Isotopic variations in meteoric waters. *Science*, 1961, 133(3465): 1702-1703.
- [3] Gat J R. Oxygen and hydrogen isotopes in the hydrologic cycle. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 1996, 24: 225-262.
- [4] Clark I D, Fritz P. *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. New York: CRC Press, 1997: 21-60.
- [5] Rozanski K, Aragués-Aragués L, Gonfiantini R. Isotopic patterns in modern global precipitation//Swart P K, Lohmann K C, Mckenzie J A, Savin S. *Climate Change in Continental Isotopic Records*. Washington, DC: American Geophysical Union, 1993: 1-36.
- [6] Ciais P, Jouzel J. Deuterium and oxygen 18 in precipitation; Isotopic model, including mixed cloud processes. *Journal of Geophysical Research*, 1994, 99(D8): 16793-16803.
- [7] Gibson J J. Short-term evaporation and water budget comparisons in shallow Arctic lakes using non-steady isotope mass balance. *Journal of Hydrology*, 2002, 264(1/4): 242-261.
- [8] Lee J E, Risi C, Fung I, Worden J, Scheepmaker R A, Lintner B, Frankenberg C. Asian monsoon hydrometeorology from TES and SCIAMACHY water vapor isotope measurements and LMDZ simulations; Implications for speleothem climate record interpretation. *Journal of Geophysical Research*, 2012, 117(D15): D15112.
- [9] Risi C, Bony S, Vimeux F, Descroix L, Ibrahim B, Lebreton E, Mamadou I, Sultan B. What controls the isotopic composition of the African monsoon precipitation? Insights from event-based precipitation collected during the 2006 AMMA field campaign. *Geophysical Research Letters*, 2008, 35(24): L24808.
- [10] Risi C, Bony S, Vimeux F, Chong M, Descroix L. Evolution of the stable water isotopic composition of the rain sampled along Sahelian squall lines. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 2010, 136(S1): 227-242.
- [11] Risi C, Bony S, Vimeux F, Frankenberg C, Noone D, Worden J. Understanding the Sahelian water budget through the isotopic composition of water vapor and precipitation. *Journal of Geophysical Research*, 2010, 115(D24): D24110.
- [12] Risi C, Bony S, Vimeux F, Jouzel J. Water-stable isotopes in the LMDZ4 general circulation model; model evaluation for present-day and past climates and applications to climatic interpretations of tropical isotopic records. *Journal of Geophysical Research*, 2010, 115(D12): D12118.
- [13] Risi C, Noone D, Worden J, Frankenberg C, Stiller G, Kiefer M, Funke B, Walker K, Bernath P, Schneider M, Wunch D, Sherlock V, Deutscher N, Griffith D, Wennberg P O, Strong K, Smale D, Mahieu E, Barthlott S, Hase F, García O, Notholt J, Warneke T, Toon G, Sayres D, Bony S, Lee J, Brown D, Uemura R, Sturm C. Process - evaluation of tropospheric humidity simulated by general circulation models using

- water vapor isotopologues: 1. Comparison between models and observations. *Journal of Geophysical Research*, 2012, 117(D5): D05303.
- [14] Sindosi O A, Bartzokas A, Kotroni V, Lagouvardos K. Influence of orography on precipitation amount and distribution in NW Greece; a case study. *Atmospheric Research*, 2015, 152: 105-122.
- [15] Hoffmann G, Werner M, Heimann M. Water isotope module of the ECHAM atmospheric general circulation model: A study on timescales from days to several years. *Journal of Geophysical Research*, 1998, 103(D14): 16871-16896.
- [16] Yoshimura K, Kanamitsu M, Noone D, Oki T. Historical isotope simulation using reanalysis atmospheric data. *Journal of Geophysical Research*, 2008, 113(D19): D19108.
- [17] Johnson L R, Sharp Z D, Galewsky J, Strong M, Van Pelt A D, Dong F, Noone D. Hydrogen isotope correction for laser instrument measurement bias at low water vapor concentration using conventional isotope analyses: application to measurements from Mauna Loa Observatory, Hawaii. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 2011, 25(5): 608-616.
- [18] Steen-Larsen H C, Sveinbjörnsdóttir A E, Peters A J, Masson-Delmotte V, Guishard M P, Hsiao G, Jouzel J, Noone D, Warren J K, White J W C. Climatic controls on water vapor deuterium excess in the marine boundary layer of the North Atlantic based on 500 days of in situ, continuous measurements. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2014, 14(15): 7741-7756.
- [19] Okazaki A, Satoh Y, Tremoy G, Vimeux F, Scheepmaker R, Yoshimura K. Interannual variability of isotopic composition in water vapor over western Africa and its relationship to ENSO. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2015, 15(6): 3193-3204.
- [20] Vallack H, Loader N, Young G H H, McCarroll D, Brown D. Stable oxygen isotopes in Irish oaks: potential for reconstructing local and regional climate. *Irish Geography*, 2017, 49(2): 55-70.
- [21] Sherwood S C, Minnis P, McGill M. Deep convective cloud - top heights and their thermodynamic control during CRYSTAL - FACE. *Journal of Geophysical Research*, 2004, 109(D20): D20119.
- [22] Callow N, McGowan H, Warren L, Speirs J. Drivers of precipitation stable oxygen isotope variability in an alpine setting, Snowy Mountains, Australia. *Journal of Geophysical Research*, 2014, 119(6): 3016-3031.
- [23] Krishnamurti T, Sinha M C, Jha B, Mohanty U C. A study of South Asian monsoon energetics. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 1998, 55(15): 2530-2548.
- [24] Tian L D, Yao T D, Atusi N, Sun W Z. Stable isotope variations in monsoon precipitation on the Tibetan Plateau. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 2001, 79(5): 959-966.
- [25] Yao T D, Thompson L G, Mosley-Thompson E, Yang Z H, Zhang X P. Climatological significance of $\delta^{18}\text{O}$ in north Tibetan ice cores. *Journal of Geophysical Research*, 1996, 101(D23): 29531-29537.
- [26] Yu W S, Yao T D, Tian L D, Ma Y M, Kurita N, Ichianagi K, Wang Y, Sun W Z. Stable isotope variations in precipitation and moisture trajectories on the western Tibetan Plateau, China. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 2007, 39(4): 688-693.
- [27] Yu W S, Yao T D, Tian L D, Ma Y M, Wen R, Devkota L P, Wang W C, Qu D M, Chhetri T B. Short-term variability in the dates of the Indian monsoon onset and retreat on the southern and northern slopes of the central Himalayas as determined by precipitation stable isotopes. *Climate Dynamics*, 2016, 47(1/2): 159-172.
- [28] Chen C M. Science mapping: a systematic review of the literature. *Journal of Data and Information Science*, 2017, 2(2): 1-40.
- [29] McCarroll D, Loader N J. Stable isotopes in tree rings. *Quaternary Science Reviews*, 2004, 23(7/8): 771-801.
- [30] Bowen G J, Wilkinson B. Spatial distribution of $\delta^{18}\text{O}$ in meteoric precipitation. *Geology*, 2002, 30(4): 315-318.
- [31] Araguás-Araguás L, Froehlich K, Rozanski K. Stable isotope composition of precipitation over Southeast Asia. *Journal of Geophysical Research*, 1998, 103(D22): 28721-28742.
- [32] Yao T D, Masson-Delmotte V, Gao J, Yu W S, Yang X X, Risi C, Sturm C, Werner M, Zhao H B, He Y, Ren W, Tian L D, Shi C M, Hou S G. A review of climatic controls on $\delta^{18}\text{O}$ in precipitation over the Tibetan Plateau: observations and simulations. *Reviews of Geophysics*, 2013, 51(4): 525-548.
- [33] Tian L D, Yao T D, MacClune K, White J W C, Schilla A, Vaughn B, Vachon R, Ichianagi K. Stable isotopic variations in west China: a consideration of moisture sources. *Journal of Geophysical Research*, 2007, 112(D10): D10112.
- [34] Bowen G J, Revenaugh J. Interpolating the isotopic composition of modern meteoric precipitation. *Water Resources Research*, 2003, 39(10): 1299.
- [35] Poage M A, Chamberlain C P. Empirical relationships between elevation and the stable isotope composition of precipitation and surface waters: considerations for studies of paleoelevation change. *American Journal of Science*, 2001, 301(1): 1-15.
- [36] Yu W S, Xu B Q, Lai C T, Ma Y M, Tian L D, Qu D M, Zhu Z Y. Influences of relative humidity and Indian monsoon precipitation on leaf water stable isotopes from the southeastern Tibetan Plateau. *Geophysical Research Letters*, 2014, 41(21): 7746-7753.