

DOI:10.11913/PSJ.2095-0837.2022.50619

张弛, 王伟, 操瑜, 孙君瑶, 刘帆, 李伟. 青藏高原水生植物相关研究现状及发展趋势[J]. 植物科学学报, 2022, 40(5): 619~626  
Zhang C, Wang W, Cao Y, Sun JY, Liu F, Li W. Research progress and development trends of aquatic plants on the Tibetan Plateau [J]. *Plant Science Journal*, 2022, 40(5): 619~626

# 青藏高原水生植物相关研究现状及发展趋势

张弛<sup>1,2,3</sup>, 王伟<sup>3,4</sup>, 操瑜<sup>3,4</sup>, 孙君瑶<sup>3,4</sup>, 刘帆<sup>3,4</sup>, 李伟<sup>1,3,4\*</sup>

(1. 西藏大学理学院, 拉萨 850000; 2. 西藏大学青藏高原生态与环境研究中心, 拉萨 850000; 3. 中国科学院武汉植物园水生植物研究中心, 武汉 430074; 4. 湿地演化与生态恢复湖北省重点实验室, 武汉 430074)

**摘要:** 青藏高原以其独特的地貌格局及气候条件发育出众多河流、湖泊和沼泽等高原湿地景观, 研究高原水生植物有助于提高对高原湿地湖沼演化、生态系统结构与功能的认识。本文基于中国知网(CNKI)和 Web of Science 中的核心合集子库数据, 获取了 1991–2022 年 2 月间发表的 156 篇青藏高原水生植物相关研究的文章。利用 Bibliometrix 软件对其发文量、引用量、关键词、期刊、研究机构等进行了分析。结果显示, 根据关键词的主题演变发现, 过去 30 年中, 研究重点由水生植物群落调查和地理分布逐渐转向水生植物的分化演化、多样性及群落构建机制; 水生植物在时间尺度上的演替特征也被用于古湖沼学, 成为构建高原隆起后气候、环境变化的技术手段之一。相关研究为我国应对全球变化、评估建立水资源和水生态安全机制奠定了基础。

**关键词:** 青藏高原; 水生植物; 文献计量分析; 主题; 趋势

中图分类号: Q948.8

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2022)05-0619-08

## Research progress and development trends of aquatic plants on the Tibetan Plateau

Zhang Chi<sup>1,2,3</sup>, Wang Wei<sup>3,4</sup>, Cao Yu<sup>3,4</sup>, Sun Jun-Yao<sup>3,4</sup>, Liu Fan<sup>3,4</sup>, Li Wei<sup>1,3,4\*</sup>

(1. College of Science, Tibet University, Lhasa 850000, China; 2. Research Center for Ecology and Environment of Qinghai-Tibetan Plateau, Tibet University, Lhasa 850000, China; 3. Aquatic Plant Research Center, Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430074, China; 4. Hubei Key Laboratory of Wetland Evolution & Ecological Restoration, Wuhan, 430074, China)

**Abstract:** Due to its unique geomorphic patterns and climatic conditions, many plateau wetland landscapes, such as rivers, lakes, and marshes, have developed on the Tibetan Plateau. The study of plateau aquatic plants can facilitate our understanding of the evolution of plateau wetlands, lakes, and marshes, as well as the structure and function of plateau wetland ecosystems. Based on data from the China National Knowledge Infrastructure (CNKI) and Web of Science core collection databases, we obtained 156 articles related to aquatic plants on the Tibetan Plateau published between 1991 and February 2022. We used Bibliometrix to analyze the identified citations, keywords, journals, and research institutions and to clarify the overall development of current research and research hotspots on aquatic plants on the Tibetan Plateau. In the past 30 years, the main research has shifted from community surveys and geographical distribution to differentiation, evolution, diversity, and community construction of aquatic plants. Time-scale succession characteristics of aquatic

收稿日期: 2022-03-11, 修回日期: 2022-04-28。

基金项目: 国家自然科学基金(U2240213); 第二次青藏高原综合科学考察研究项目(2019QZKK0502)。

This work was supported by grants from the National Natural Science Foundation of China (U2240213) and Second Comprehensive Scientific Expedition to the Qinghai-Tibet Plateau (2019QZKK0502)。

作者简介: 张弛(1996–), 男, 硕士研究生, 研究方向为青藏高原水生植物生态学(E-mail: zwyzhangchi@163.com)。

\* 通讯作者(Author for correspondence. E-mail: liwei@wbqcas.com)。

plants have also been used for paleolimnological reconstruction of climate and environmental change after plateau uplift. This research has laid a foundation for China to respond to global changes and to assess and establish water resources and water ecological security mechanisms.

**Key words:** Tibetan Plateau; Aquatic plants; Bibliometric analysis; Subject; Trend

水生植物是湖泊等湿地景观中的主要初级生产者之一, 不仅为湖泊中许多草食性动物提供食物, 还有改善水质和增加水环境稳定性的功能<sup>[1]</sup>。水生维管束植物的定义是指所有蕨类植物门(蕨及其近缘类型)和种子植物门(裸子和被子植物)中那些其光合作用部分永久地或至少一年中有数月沉没于水中或浮在水面的植物<sup>[2]</sup>。Best<sup>[3]</sup>把水生植物看作大型的草本植物, 是沿岸带或沼泽植被的一部分。湿地(湿生)植物作为生长于湿地生境中的植物, 在实际应用中也有人提出与水生植物中的挺水植物、浮叶植物、沉水植物和漂浮植物等4类划分并列, 因此本文对于水生植物的界定包括湿地(湿生)植物<sup>[4]</sup>。

青藏高原是亚洲众多大江大河的发源地, 惠及十几亿人口, 被称为“亚洲水塔”<sup>[5]</sup>。我国《1956–1967年科学技术发展远景规划》将青藏高原研究作为重要内容<sup>[6]</sup>。此后, 随着《1963–1972年科学技术规划纲要》和《中国科学院青藏高原1973–1980年综合科学考察规划》的执行, 学界对于高原地质发展的历史及隆升的原因、高原隆起后对自然环境和人类活动的影响、自然条件与自然资源的特点等取得了更深入甚至全新的认识, 初步探讨了青藏高原形成演化等相关的理论问题, 为青藏高原经济建设提供了重要的科学依据。然而, 水生植物作为一类小的研究主体在这一时期并未得到足够的重视。

2017年3月, 中国科学院和西藏自治区签订新一轮院区战略合作协议, 共同开展第二次青藏高原综合科学考察研究。这次科考着力于揭示过去50年来环境变化的过程与机制及其对人类社会的影响, 预测这一地区地球系统行为的不确定性, 评估资源环境承载力、灾害风险, 并提出亚洲水塔与生态屏障保护、第三极国家公园建设和绿色发展途径的科学方案, 为生态文明建设和“一带一路”建设服务<sup>[7]</sup>。这一内容凸显出水资源和水生态保护的重要性, 水生植物作为水域生态系统最主要的初

级生产者也逐渐得到重视。

近半个世纪以来, 随着全球气温变化和人类活动的双重影响, 自然生态系统遭到了不同程度的干扰<sup>[8]</sup>。高海拔、高纬度地区的生态系统对气候变化和人类干扰的响应和反馈更加快速和敏感<sup>[9]</sup>。在全球气候变化大背景下, 对于青藏高原地区陆地植被特别是草地生态系统的研究一直是热点, 产生了大量较好的研究成果<sup>[10]</sup>。对于水生植物的研究, 文献量也与日俱增。如赵佐成<sup>[11–15]</sup>(1992、1995年)在野外采用样方调查法, 对川西藏东水生植物群落进行调查统计, 同时对水生植物群落立地水深、pH值和表层水温进行了测量记录。王东<sup>[16]</sup>(1999–2002年)采用同样的方法深入高原腹地各类水体进行水生植物生境调查和植物标本采集, 着重记录了边缘生境、原生水域生态系统中分布的水生植物种类, 并对湖泊做分布剖面(滩地、沿岸带、亚沿岸带、中央区), 探究不同剖面下水生植物分布的异同。近期, 第二次青藏高原科考也产出不少成果, 如Zhou等<sup>[17]</sup>通过植物功能性状和系统发育的多样性开展了高原水生植物群落构建机制的研究。

尽管近年来对青藏高原水生植物的研究显著增加, 然而其整体研究现状、发展趋势及其相关研究团队的具体情况并不清晰。本文基于文献计量学, 以青藏高原湖泊水生植物相关研究论文为对象, 分析其总体现状、研究热点及趋势脉络, 描绘青藏高原湖泊水生植物研究的科学轨迹, 以期为后续研究规划和布局提供参考。

## 1 数据来源及方法

### 1.1 数据来源

中文文献数据来源于中国知识基础设施工程(简称“CNKI”)权威数据库, 选择高级检索, 输入检索条件为: TS=“青藏高原水生植物/青藏高原湿地植物/西藏水生植物/西藏湿地植物/青海水生植物/青海湿地植物”, 检索时间范围

为 1991 – 2022 年；国际文献数据来源于美国科学信息研究所 (Institute for Scientific Information) 的引文数据 Web of Science (WOS) 核心合集 SSCI 数据库，该数据库代表着国际和社会科学研究的高水平成果，WOS 检索字段选择主题为 TS = (((“水生植物”) OR (“湿地植物”) OR (“湿生植物”) OR (“aquatic plant \*”) OR (“aquatic vegetation \*”) OR (“aquatic macrophyte \*”) OR (“water plant \*”) OR (“water vegetation \*”) OR (“water macrophyte \*”) OR (“wetland plant \*”) OR (“wetland vegetation \*”) OR (“wetland macrophyte \*”) OR (“submerged plant \*”) OR (“submerged vegetation \*”) OR (“submerged macrophyte \*”) OR (“emergent plant \*”) OR (“emergent vegetation \*”) OR (“emergent macrophyte \*”) OR (“free-floating plant \*”) OR (“free-floating vegetation \*”) OR (“free-floating macrophyte \*”) OR (“submersed plant \*”) OR (“submersed vegetation \*”) OR (“submersed macrophyte \*”) OR (“floating plant \*”) OR (“floating vegetation \*”) OR (“floating macrophyte \*”)) AND ((“Tibet plateau”) OR (“Qing-zang-Tibet”) OR (“Qinghai”) OR (“Tibetan Plateau”) OR (“青藏高原”) OR (“青海”)))。检索时间范围为 1991 – 2022 年 (首篇文献发表于 1991 年)。数据检索于 2022 年 2 月 20 日，经手动剔除明显不相关文献后，共获取有效文献 156 篇。

1.2 研究方法

每种出版物的元数据包括作者、标题、来源 (出版刊物)、国家/地区、关键词、地址、主题类别和摘要。所有下载的数据都是“.bib”文档或 txt 文档经 Citespace 转换而来，并通过 R 4.1.1 中的 ‘bibliometrix’ 包中的 ‘biblioshiny’ 函数进行分析<sup>[18]</sup>，包括基本信息、关键词分析等。采用 R 4.1.1 软件中的 nls 函数拟合年出版量的指数曲线。分析通讯作者所在国家的出版量时，采用单一国家出版量 (SCP) 和多国家出版量 (MCP) 两种分类。为了了解青藏高原水生植物研究的国际合作情况，本文选取了相关作者所在国家进行了分析。对青藏高原水生植物研究的关键词进行梳理，筛选出使用频率最高的前 20 个单词，使用

mk 函数进行趋势分析 (在过去 30 年中增加还是减少)。

2 结果与分析

2.1 青藏高原水生植物研究总体发文分析

通过汇总 1991–2022 年中国知识基础设施工程 (简称“CNKI”) 权威数据库和 SCI 引文数据库检索数据，得出青藏高原水生植物相关研究的年度发文分布情况和引用情况 (图 1)。156 篇文章中，研究性论文占 93%，其余文章为综述和会议论文。此类文献并未包括根据青藏高原第一次科考等活动编撰的相关植物志，如《西藏植物志》、《青海植物志》及《西藏南迦巴瓦峰地区维管束植物区系》等专著。

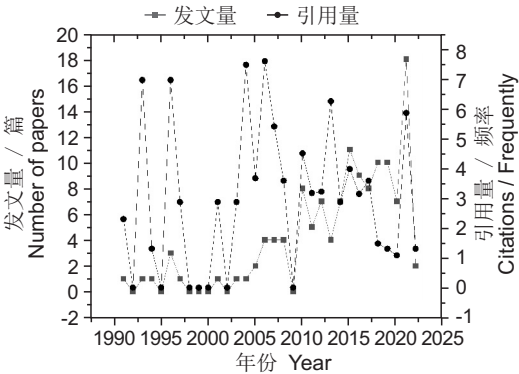


图 1 文章年度发表量及引用情况  
Fig. 1 Annual publication and citation of articles

从文章发表量和引用率来看，可分为 3 个阶段：1991–2008 年的初始平稳积累期、2009–2013 的缓慢增长期和 2013 至今的快速增长期。文献发表量从第 1 阶段的每年 1 ~ 2 篇增加至第 2 阶段每年 5 篇左右，到现阶段的每年 10 篇左右。年均文献引用率在第 1 阶段剧烈波动，而在第 2、3 段逐渐稳定在 4 次左右 (图 1)。说明近 30 年来青藏高原水生植物相关研究逐渐活跃，参与人员逐渐增多。相关研究的急速增长与我国国力及科研力量的逐渐增强有关，也可能与国家大河水源地资源和环境保护以及实施西部大开发战略的需求有关<sup>[19]</sup>。同时，气候变化逐渐成为国际社会讨论的重要议题，青藏高原作为仅次于南北极地区的响应变化区域，已成为全球科研的热点区域，针对青藏高原的整体科考和研究也带动了水生植物科研工作的发展<sup>[20]</sup>。

2.2 文章作者的国家分布及科研合作情况

我国在青藏高原水生植物的相关研究工作中处于引领地位，共计发表文章 118 篇，以通讯作者单独发表 94 篇(图 2)。德国、美国和日本也参与到相关研究中，分别发表 18、6、5 篇(图 2)。这得益于我国青藏科学考察一期和二期工作的开展，中国科学院多家院所、兰州大学、武汉大学等单位逐步奠定了青藏高原科学研究的基础，并逐步发展。与此同时，我国学者也与德国阿尔弗雷德·魏格纳极地海洋研究所、丹麦奥胡斯大学等科研机构开展了科研交流。

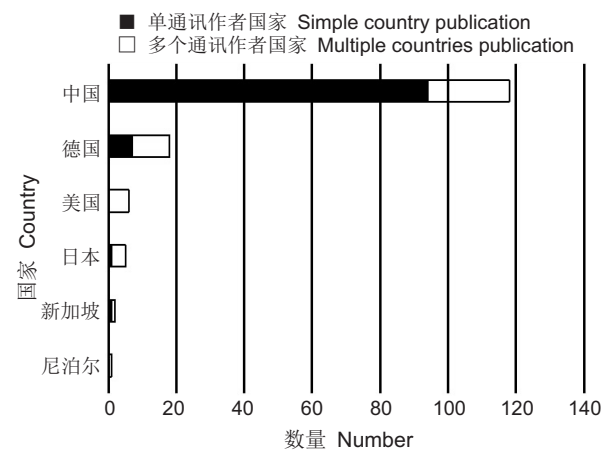


图 2 文章发表数量前 6 的国家(基于通讯作者国籍)  
Fig. 2 Top six countries where articles are published according to corresponding author

文献引用方面，我国以 1766 次的总引用量居于首位，德国(679 次)、美国(533 次)、日本(215 次)紧随其后。值得注意的是，我国在该领域发表文章的平均引用率不高，仅以 19.2 次/篇位列第 6，而我国香港特别行政区(71 次/篇)、美国

(88.8 次/篇)、日本(53.8 次/篇)、德国(42.4 次/篇)和尼泊尔(10.0 次/篇)的单篇引用较高，反映出虽然我国在该领域具有整体研究的优势，但单篇论文的影响力有待提高。

2.3 文献发表的期刊涉及相关研究领域

从文章发表刊源来看，主要分为两大学科群，第一类发表在包括 *Org Geochem* (12)、*J Paleolimnol* (7) 和 *Chem Geol* (4) 等地质、古湖沼学类的代表性期刊上；第二类是发表在《*武汉植物学研究*》(现《*植物科学学报*》)(6)、*Front Plant Sci* (3)、*BMC Evol Biol* (2) 和 *Freshw Biol* (2) 等植物生态、植物进化类的代表性期刊上(图 3)。

文献的主要引用期刊也包括两个方向，以 *Aqua Bot*、*Mol Ecol* 等为代表的水生植物学相关期刊的引用明显低于古湖沼学、古气候学等地质学相关期刊(图 4)。

2.4 研究方向关键词及主要研究机构

发表文章的关键词中，正构烷烃(N-alkanes)出现的频率极高(表 1)。正构烷烃来源于植物(陆生植物、水生植物)和藻类等光合生物体，根据其分子组成中不同碳链的长度、含量结合脂肪酸链长度可以判断其植物水陆来源。同时，借助碳同位素  $\delta C^{13}$  和  $\delta D$  值可以推断植物对沉积物中碳的贡献，从而帮助研究人员判断古湖泊盆地的沉积类型和相关气候因子<sup>[21-23]</sup>。基于水生植物正构烷烃的分析技术在青藏高原湖泊湖盆沉积及气候变化预测中已有广泛应用<sup>[23]</sup>。相关研究机构包括中国科学院地球环境研究所、兰州大学和中国科学院青藏高原研究所等(表 2)。

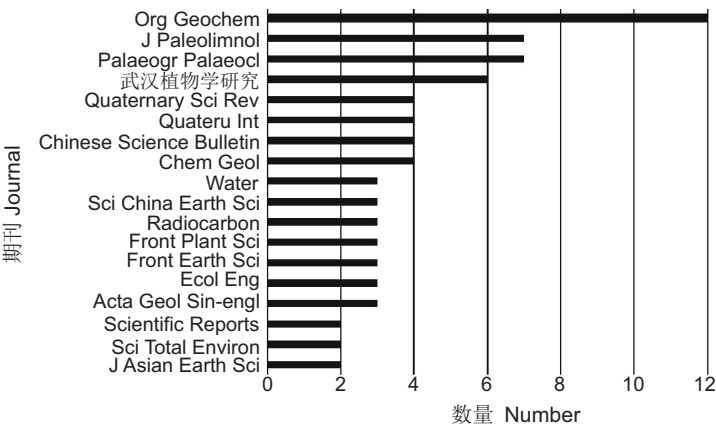


图 3 文章发表主要期刊统计

Fig. 3 Statistics of major journal-published articles  
© Plant Science Journal <http://www.plantscience.cn>



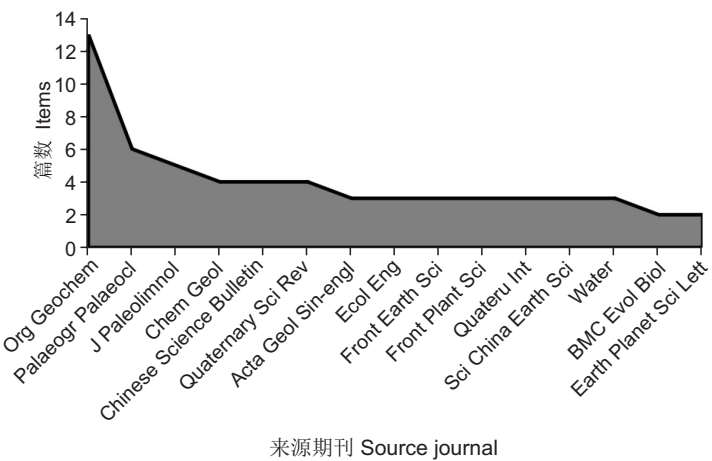


图 4 文章中引用文献的主要期刊及核心期刊资源  
Fig. 4 Main journals and core journal resources cited in article

表 1 青藏高原水生植物领域被引频次最高的 20 个关键词  
Table 1 Top 20 most frequently cited keywords in field of aquatic plants in Tibetan Plateau

序号 No.	频次 Frequency	关键词 Keywords	序号 No.	频次 Frequency	关键词 Keywords
1	16	N-Alkanes (正烷烃)	11	10	Asian monsoon (亚洲季风)
2	15	Genetic diversity (遗传多样性)	12	9	Plants (植物)
3	15	Evolution (进化)	13	9	Community (群落)
4	15	Biodiversity (生物多样)	14	9	Patterns (模式)
5	14	China (中国)	15	9	Precipitation (降水)
6	14	Climate (气候)	16	9	Vegetation (植被)
7	13	Sediments (沉积物)	17	8	Climate-change (气候变化)
8	12	Record (记录)	18	8	Leaf Waxes (叶蜡)
9	11	Tibetan Plateau (青藏高原)	19	8	Ratios (比率)
10	11	Environmental-changes (环境变化)	20	7	Qinghai (青海)

表 2 青藏高原水生植物研究科研机构发文章统计  
Table 2 Top 10 most relevant affiliates

附属机构 Relevant affiliate	文章数 Number of articles
Chinese Acad Sci (中国科学院)	32
Univ Chinese Acad Sci (中国科学院大学)	31
Lanzhou Univ (兰州大学)	28
Inst Earth Environm(地球环境研究所)	24
Wuhan Univ (武汉大学)	22
Inst Tibetan Plateau Res (青藏高原研究所)	14
Inst Geol and Geophys(地质和地球物理研究所)	13
China Univ Geosci(中国地质大学)	12
Univ Hong Kong(香港大学)	12
Free Univ Berlin(柏林自由大学)	9

水生植物学相关研究的关键词出现较多的为群落(Community)、遗传多样性(Genetic diversity)、进化(Evolution)和生物多样性(Biodiversity)等(表 1)。如对青藏高原杉叶藻(*Hippuris vulgaris* L.)、篦齿眼子菜(*Stuckenia pectinata* (L.) Borner)、水毛茛(*Batrachium bungei* (Steud.) L. Liou)和

狐尾藻(*Myriophyllum verticillatum* L.)的地理分布、分化及进化的研究<sup>[24]</sup>，以及水生植物适应高原环境的元素化学计量学和表达转录调控相关研究<sup>[25]</sup>。研究单位主要有武汉大学、中国科学院武汉植物园、中国科学院成都生物所及西藏大学等。

2.5 研究关键词动态变化及趋势分析

1991–2003 年间水生植物相关研究的关键词主要是种群及群落调查，相关研究一直持续到 2003 年左右。随着 2010 年左右水生植物正构烷烃在古湖沼学研究中的应用与推广，该研究主题一直持续至今，主要集中在湖盆沉积物来源分析、湖盆类型、湖泊水文变化等方面(图 5、图 6)。2014 年热点关键词产生变化，主要集中在对高原代表水生植物水毛茛属(*Batrachium*)、杉叶藻属(*Hippuris*)和篦齿眼子菜(*Stuckenia pectinata* (L.) Borner)的系统发育地理学研究，这一研究热点持续至今(图 5、图 6)。值得注意的是，近年来

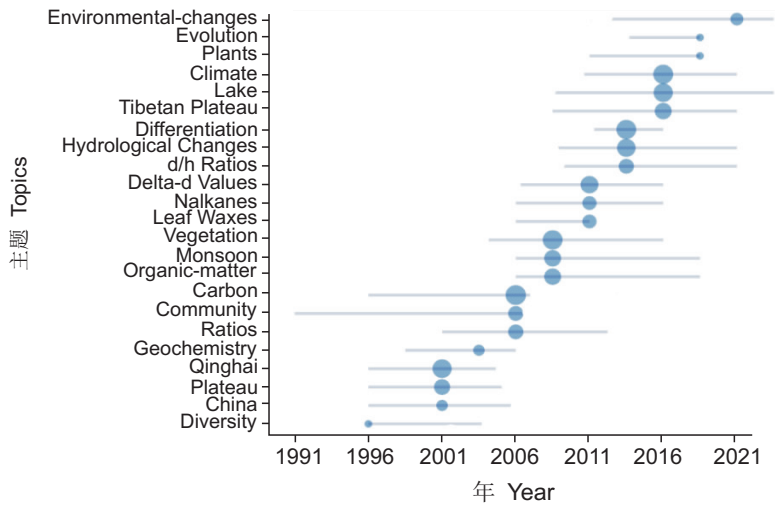


图 5 1991–2022 年研究主题出现频度趋势图  
Fig. 5 Frequency trends of research topics from 1991 to 2022

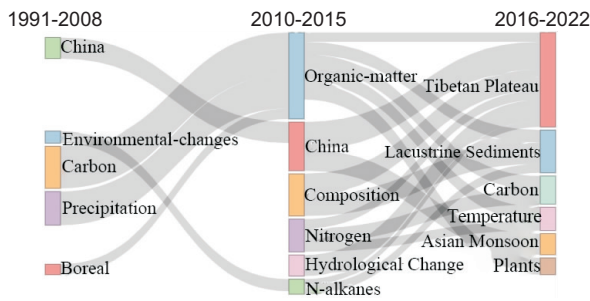


图 6 1991–2022 年出版物专题演变图  
Fig. 6 Thematic evolution map of publications from 1991 to 2022

基于功能性状探索水生植物适应高原环境的研究逐渐增多，研究结果表明生态位相关海拔、温度等环境因子在其适应高原特殊生境及其群落构建中发挥着重要作用<sup>[24]</sup>。这些研究均以气候、季风和环境变化为出发点，基于水生植物自身的特点，探索青藏高原隆起对自然环境的影响。

3 讨论与展望

青藏高原是冈瓦纳古陆和劳亚古陆汇集碰撞的产物，汇集了两大古陆植物区系，喜马拉雅山脉作为南北植物区系分界、汇合与分化的中心，是研究世界植物连续分布和间断分布的理想区域<sup>[25]</sup>。发源于青藏高原的大江大河造就了东亚和南亚水生植物的分布格局，蕴藏着水生植物分化、演化以及适应全球变化的密码，因此，开展该地区水生植物的相关研究极为重要。水生植物虽然是小众群体，但对于维持湿地生态系统健康极为重要<sup>[4, 26]</sup>。本文

利用文献计量学分析工具 Bibliometrix 包分析了青藏高原水生植物相关研究的文献，得出如下结论：

(1) 青藏高原水生植物研究相关的文章年发表量呈较快增长趋势，说明青藏高原作为我国重要的生态安全屏障、战略资源储备基地日益受到人们的关注。其次，第二次青藏高原科考将植物多样性保护和可持续利用单独列为一项科研任务，其中也包含水生植物，说明水生植物在青藏高原重大科研项目中的重要性已得到重视。同时，西藏地方高校与中东部地区科研单位的合作日益加强，相关基础设施和合作交流的加强也促进了青藏高原水生植物的相关研究。

(2) 关键词的主题演变表明，过去 30 年中，青藏高原水生植物的研究重点由群落调查和地理分布逐渐转向水生植物对高原环境的适应性。水生植物时间尺度的演替特征也常用于古湖沼学，主要通过水生植物的正构烷烃特征值推导重建高原隆起过程中的气候、环境变化的过程，说明青藏高原水生植物研究逐渐从基础多样性研究向环境适应机制领域发展。第二次青藏高原科考重新布局开展水生植物多样性调查，此次调查样点、覆盖范围、专业人员组成和多学科保障等方面均有很大程度的改善提升，相关研究成果将为我国应对全球变化，评估建立水资源和水生态安全机制提供重要的知识储备。

综上，本文运用文献计量学方法对青藏高原湖泊水生植物相关文章进行了分析，结果显示我国在青藏高原水生植物方面的研究处于主导地位，主要

关注地质结构隆起后植物对高原环境的适应性机制；通过水生植物正构芳烃等特征开展古湖沼学研究等<sup>[27, 28]</sup>。研究主题主要为阐明高原地质发展的历史和隆升原因，分析高原隆起对自然环境和人类活动的影响，研究自然条件与自然资源的特点及其利用改造的方向和途径。新技术、科研条件的改善以及新团队的加入为当前青藏高原水生植物相关研究注入了活力，使得对以上研究主题的探讨不断深入，但对水生植物在高原生态系统中的功能也应开展深入研究。

## 参考文献：

- [1] 刘军会, 高吉喜, 王文杰. 青藏高原植被覆盖变化及其与气候变化的关系[J]. 山地学报, 2013, 31(2): 234-242.  
Liu JH, Gao JX, Wang WJ. Variations of vegetation coverage and its relations to global climate changes on the Tibetan Plateau during 1981–2005 [J]. *J Mt Sci-Engl*, 2019, 64(27): 2761–2762.
- [2] Den Hartog C. Water plants of the world; a manual for the identification of the genera of freshwater macrophytes[J]. *Aquat Bot*, 1975, 1: 83–84.
- [3] Best EPH. The phytosociological approach to the description and classification of aquatic macrophytic vegetation [J]. *J Veg Sci*, 1988, 96(6): 155–182.
- [4] 李伟. 我国水生植物多样性保护的研究与实践[J]. 人民长江, 2020, 51(1): 104–112.  
Li W. Research and practice of aquatic plant diversity conservation in China[J]. *Yangtze River*, 2020, 51(1): 104–112.
- [5] 姚檀栋. 青藏高原水-生态-人类活动考察研究揭示“亚洲水塔”的失衡及其各种潜在风险[J]. 科学通报, 2019, 64(27): 2761–2762.  
Yao TD. A comprehensive study of Water-Ecosystem-Human activities reveals unbalancing Asian Water Tower and accompanying potential risks[J]. *Chin Sci Bull*, 2019, 64(27): 2761–2762.
- [6] 张久春, 张柏春. 规划科学技术: 《1956–1967年科学技术发展远景规划》的制定与实施[J]. 中国科学院院刊, 2019, 34(9): 982–991.  
Zhang JC, Zhang BC. Planning science and technology: working out and implementing the long-term program for developing sciences and technology from 1956 to 1967 [J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2019, 34(9): 982–991.
- [7] 王勇忠. 《1963–1972年农业科学技术发展规划纲要》研究[J]. 当代中国史研究, 2019, 26(2): 28–36.  
Wang YZ. Study on “The Outline of Agricultural Science and Technology Development Planning From 1963 to 1972” [J]. *Contemporary China History Studies*, 2019, 26(2): 28–36.
- [8] 姚檀栋, 邬光剑, 徐柏青, 王伟财, 高晶, 等. “亚洲水塔”变化与影响[J]. 中国科学院院刊, 2019, 34(11): 1203–1209.  
Yao TD, Wu GJ, Xu BQ, Wang WC, Gao J, et al. Asian water tower change and its impacts [J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2019, 34(11): 1203–1209.
- [9] 谢平, 陈宜瑜. 淡水生态系统中生物多样性面临的威胁[J]. 科学对社会的影响, 1995(4): 15–24.
- [10] 牛亚菲. 青藏高原生态环境问题研究[J]. 地理科学进展, 1999, 18(2): 69–77.  
Niu YF. Research on ecological environment problems of Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Prog Geogr*, 1999, 18(2): 69–77.
- [11] 赵佐成. 青藏高原东缘理塘县水生植物群落[J]. 武汉大学学报(自然版), 1994, 5: 116–122.  
Zhao ZC. On communities of aquatic vascular plants in Litang county in east margin of Qinghai-Xizang plateau [J]. *Journal of Wuhan University (Natural Science Edition)*, 1994, 5: 116–122.
- [12] 赵佐成. 青藏高原甘孜县水生植物群落调查[J]. 武汉植物学研究, 1996, 14(1): 33–40.  
Zhao ZC. Study of communities of aquatic vascular plants in Ganzi county in Qinghai-Xizang plateau [J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 1996, 14(1): 33–40.
- [13] 赵佐成. 四川省泸定、康定县水生植物群落调查[J]. 武汉植物学研究, 1996, 14(2): 147–152.  
Zhao ZC. Study of communities of aquatic vascular plants in Luding and Kangding counties, Sichuan province [J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 1996, 14(2): 147–152.
- [14] 赵佐成. 四川省红原县水生植物群落调查[J]. 武汉植物学研究, 1996, 14(3): 213–222.  
Zhao ZC. Study of communities of aquatic vascular plants in Hongyuan county of Sichuan province [J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 1996, 14(2): 213–222.
- [15] 赵佐成. 青藏高原四县水生植物群落调查[J]. 武汉植物学研究, 1997, 15(2): 131–136.  
Zhao ZC. A study on communities of aquatic vascular plants in four counties in Qinghai-Xizang [J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 1997, 15(2): 131–136.
- [16] 王东. 青藏高原水生植物地理研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2003: 25–29.
- [17] Zhou YD, Xiao KY, Chen SC, Liu X, Wang QF, et al. Altitudinal diversity of aquatic plants in the Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Freshw Biol*, 2021, 8(3): 1–11.

- [18] Aria M, Cuccurullo C. Bibliometrix: an R-tool for comprehensive science mapping analysis [J]. *J Informet*, 2017, 11(4): 959–975.
- [19] 杨耀先, 胡泽勇, 路富全, 蔡英, 于海鹏, 等. 青藏高原近 60 年来气候变化及其环境影响研究进展 [J]. *高原气象*, 2022, 41(1): 1–10.  
Yang YX, Hu ZY, Lu FQ, Cai Y, Yu HP, *et al*. Research progress of climate change and its environmental impact on Qinghai-Tibet Plateau in recent 60 years [J]. *Plateau Meteor*, 2022, 41(1): 1–10.
- [20] 陈发虎, 汪亚峰, 甄晓林, 孙建. 全球变化下的青藏高原环境影响及应对策略研究 [J]. *中国藏学*, 2021(4): 21–28.  
Chen FH, Wang YF, Zhen XL, Sun J. Environmental impact of global change on Qinghai-Tibet Plateau and its coping strategies [J]. *Chinese Tibetology*, 2021(4): 21–28.
- [21] Cranwell PA, Eglinton G. Lipids of aquatic organisms as potential contributors to lacustrine sediments [J]. *Org Geochem*, 1987, 11(6): 513–527.
- [22] Ficken KJ, Bi L, Swain DL, Eglinton G. An n-alkane proxy for the sedimentary input of submerged/floating freshwater aquatic macrophytes [J]. *Org Geochemistry*, 2000, 31(7): 745–749.
- [23] 刘虎, 柳中晖, 赵成, 刘卫国. 水生植物烷基脂类含量和分布特征及其单体氢同位素组成 [J]. *中国科学: 地球科学*, 2019, 49(9): 1439–1451.
- Liu H, Liu ZH, Zhao C, Liu WG. Content, distribution and hydrogen isotopic composition of alkyl lipids in aquatic plants [J]. *Scientia Sinica (Terrae)*, 2019, 49(9): 1439–1451.
- [24] 周亚东, 董洪进, 严雪, 刘星, 王青锋. 西藏地区水生植物多样性及其空间格局初探 [J]. *环境生态学*, 2020, 2(11): 7–12.  
Zhou YD, Dong HJ, Yan X, Liu X, Wang QF. Diversity and spatial pattern of aquatic plants in Tibet [J]. *J Environ Sci*, 2020, 2(11): 7–12.
- [25] 马丽华. 青藏苍茫 [M]. 北京: 三联书店, 1999: 1–452.
- [26] 许雪贇, 曹建军, 杨淋, 杨书荣, 龚毅帆, 等. 放牧与围封对青藏高原草地土壤和植物叶片化学计量学特征的影响 [J]. *生态学杂志*, 2018, 37(5): 1349–1355.  
Xu XY, Cao JJ, Yang L, Yang SR, Gong YF, *et al*. Effects of grazing and enclosure on stoichiometric characteristics of soil and plant leaves in the Tibetan Plateau [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2018, 37(5): 1349–1355.
- [27] Yang L. Generality and shifts in leaf trait relationships between alpine aquatic and terrestrial herbaceous plants on the Tibetan Plateau [J]. *Front Ecol Evol*, 2021, 9: 1–14.
- [28] 林杰. 叶蜡烷烃单体同位素对青藏高原中-晚新生代古地形和古环境的约束 [D]. 北京: 中国地质大学, 2020: 30–35.

(责任编辑: 李惠英)