



DOI: 10.20103/j.stxb.202211213367

曲孝云, 侯东杰, 陆帅志, 郭柯. 基于文献计量分析的青藏高原草地研究. 生态学报, 2023, 43(19): 8229–8240.

基于文献计量分析的青藏高原草地研究

曲孝云^{1,2}, 侯东杰³, 陆帅志^{1,2}, 郭 柯^{1,2,*}

1 中国科学院植物研究所, 植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093

2 中国科学院大学, 北京 100049

3 内蒙古农业大学, 草原与资源环境学院, 呼和浩特 010019

摘要:为更好地了解青藏高原草地研究现状,以英文数据库 Web of Science (WOS) 和中文数据库中国知网 (CNKI) 为数据来源对 1980—2022 年的相关文献进行了检索,再利用 CiteSpace 5.8.R3 与 VOSviewer 1.6.18 可视化分析工具,对经筛选后 WOS 数据库中 2483 篇相关文献以及 CNKI 数据库中 2712 篇相关文献的发文数量、发文作者、发文机构、引用现状、研究热点与前沿等方面进行了分析,结果如下:1) 1980—2022 年国内外关于青藏高原草地的相关研究发文量呈现上升趋势,年均增长率为 25.89%,且英文文献的发文量也呈现快速增长趋势,年均增长率为 14.60%。2) 截止到检索日期,被引次数最多的英文文献为“Greening of the Earth and its drivers”,频次为 1093 次;中文文献被引次数最高的是“青藏高原生态资产的价值评估”,频次为 4189 次;共引频率最高的文献是“Green-up dates in the Tibetan Plateau have continuously advanced from 1982 to 2011”,频次为 100 次。3) 中英文文章的贡献主体,主要为我国的科研人员与科研单位。4) 研究热点变化主要分为 2000 年之前野外探索阶段、2000—2010 年宏观监测与微观规律研究共同发展阶段、2010 年后以全球变化为大背景的草地功能、价值等研究阶段。

关键词: CiteSpace; VOSviewer; 青藏高原; 草地; 可视化; 文献计量学

青藏高原被称作“第三极”,是我国重要的生态屏障,具有丰富的自然资源,高原上的植被对于全球物质循环具有重要作用。在生态系统服务中,青藏高原植被具有卓越的贡献价值,数据表明青藏高原生态系统服务总价值最高的植被类型是草地,占青藏高原生态系统总服务价值的 48.3%、占国内草地总服务价值的 17.68%^[1–2]。作为全球陆地生态系统的重要组成部分,青藏高原草地在世界草地中也占有重要地位,其面积在全球草地内占比 6%,在中国占比约 44%,植被净初级生产力 (NPP) 是全国草地植被的 12.43%^[3–4]。21 世纪以来社会发展速度加快,对资源的需求量不断增大,人类活动加剧引发了全球气候变暖、水体污染、生境变化等一系列生态问题。青藏高原草地作为我国重要的生态屏障同样受到了干扰,在草地覆盖度、生物多样性、生态系统循环等方面均受到了不同程度的影响^[5–12],根据马玉寿^[13]的研究表明青藏高原草地退化面积达全区可利用草地的 33%。青藏高原草地作为响应气候变化最为明显的标志之一,环境、气候等要素发生改变,草地群落结构也会随之发生变化,从而影响不同片层的物种组成以及功能性状,对土壤的性质、功能以及地上地下物质双循环的能力产生影响,所以青藏高原草地的生态学研究成为了国内外学者关注的焦点^[14–23]。

目前关于青藏高原草地研究的成果不断增加,传统的文献阅读方式已经无法满足当前文献的增加趋势;此外,在以往的文献综述中,通常要依据个人经验和判断,主观性较强。因此利用文献计量学手段对这一研究主题进行分析可以帮助系统的梳理研究热点的发展趋势以及发展历程^[24],是正确且客观的认识我国青藏高

基金项目:第二次青藏高原综合科学考察研究 (2019QZKK0301); 中国科学院战略性先导科技专项 (XDA19050402)

收稿日期: 2022-11-21; **网络出版日期:** 2023-05-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: guoke@ibcas.ac.cn

原草地研究发展趋势的基础工作。文献计量学手段在 21 世纪以后层出不穷,广泛的应用于各个学科领域,为直观地了解青藏高原草地研究发展态势,本文选用可视化分析软件 CiteSpace.5.8.R3 与 VOSviewer1.6.18 对 1980—2022 年发表的相关文献进行客观分析与整理,总结前人研究成果,并对未来发展趋势进行预测与分析,完整地呈现青藏高原草地研究的总现状,以期为后续青藏高原草地研究提供热点参考和研究思路,对推动未来青藏高原草地研究工作具有一定的参考价值。

1 数据与方法

1.1 数据来源

CNKI 与 Web of Science 数据库被认为是较为权威的学术资源数据库,本文选用中文数据库 CNKI 与英文数据库 Web of Science 作为数据来源并利用高级检索进行搜索,CNKI 检索条件设置为:主题=“青藏高原”或“西藏高原”或全文=“青藏高原”并且主题=(“植被”or“草地”or“草原”or“草甸”);由于“青藏高原”、“草地”等词在英文翻译中形式并不统一,所以 WOS 检索条件设置为:(TS=(Qinghai Tibet Plateau OR Qinghai-tibetan OR Tibetan Plateau OR tibetan plateau OR qinghai-tibetan OR qinghai Tibetan OR qinghai-tibet OR qingzang plateau OR qing-zang OR qingzang OR qing-tibet plateau OR qinghai-xizhang)) AND TS=(vegetation OR grass OR grassland OR grasslands OR grassy marshland OR steppe OR steppes OR prairie OR savanna OR meadow OR meadows OR meadowland OR meadow ground)。为确保文献质量将 CNKI 数据库来源限定为核心期刊,语言为中文;WOS 数据库来源限定为 Web of Science 核心数据集,语言为英语。筛选结果产生后进行甄别去除报纸、会议及重复、不相关、不符合主题的文献,共获得可利用中文文献 2712 篇、英文文献 2483 篇。将筛选好的文献通过“Refworks”与“纯文本文件”格式导出,再利用软件对两个数据库内相关文献的发文数量、发文作者、发文机构、引用现状、研究热点与前沿等方面进行分析。

1.2 研究方法

CiteSpace 是一款可视化分析工具,被广泛应用于文献资料的收集以及查找与某一研究主题密切相关的经典或高被引文献,分析研究主题的热点与前沿等。与其它可视化分析软件相比 CiteSpace 将聚类分析、关键词网络、研究前沿剖析等多个方面进行了融合,具有一定的总结性与前瞻性^[25],同时其具有内置算法多样、图谱调整选项丰富、结果检验可靠等优点^[26];VOSviewer 可视化分析工具拥有出图工整、美观等特点,可以对 CiteSpace 的分析进行补充与美化^[27]。

本文利用 Origin 对 1980—2022 年的发文量进行分析,再通过 VOSviewer 与 Excel 对发文作者、发文机构进行聚类统计;同时利用 Excel 对被引次数进行统计,再通过 CiteSpace 的“Reference”功能对 WOS 数据库内获得的文献进行分析得出共被引频率;研究热点与前沿分析利用 VOSviewer 中 Keyword 功能以及 CiteSpace 控制面板“Node Types”中的 Keyword 功能对两个数据库中获取的文献进行关键词聚类,再通过 Control Panel 控制面板中“Burstness”与“Timeline”功能进行突现性与时间线分析。

2 结果与分析

2.1 发文数量

发文数量可以显示出学者对某一领域的关注程度^[28]。从图 1 增长情况看出国内外关于青藏高原草地的相关研究发文数量呈现上升趋势,年均增长率为 25.89%,且英文文献的发文量也呈现快速增长趋势,年均增长速率为 14.60%;截止到 2022 年 10 月 31 日,中文文献与英文文献发文数量最多的年份均为 2021 年。最早可检索到的相关英文文献出现在 1981 年,题目为“ON LATITUDINAL ZONING OF VEGETATION IN THE QINGHAI-XIZANG (TIBET) PLATEAU”,作者是中国科学院植物研究所的 JW, ZHANG,发表期刊为 *Scientia Sinica*;相关中文文献出现在 1980 年,题目为“青藏高原草原植被的基本特征”,作者为中国科学院植物研究所王金亭等人,发表期刊为 *Journal of Integrative Plant Biology* (前身为《植物学报》)。

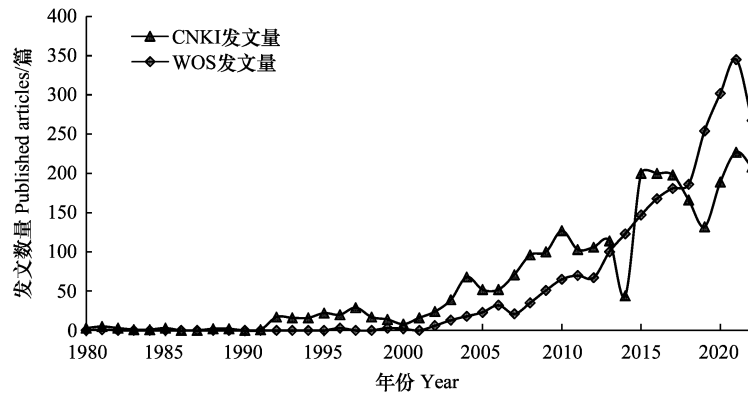


图1 CNKI与WOS发文量统计

Fig.1 Statistics on the number of articles published by CNKI and WOS

2.2 发文作者

通过对检索到的中文文献与英文文献作者进行统计得到中文文献发文作者 6110 名、英文文献发文作者 7127 名。表 1 为 CNKI 与 WOS 发文量排名前 5 的作者,图 2 和图 3 为主要作者合作集团(图中圆形聚类越大代表该作者在合作集团中代表性越强,连线越密集代表该合作集团之间各作者合作的紧密程度越高,颜色相同的图形为同一聚类集团),各合作集团中节点联系度较高,分散的节点较少,表明在青藏高原草地研究中学者们以大范围的合作研究为主,只有少部分进行小范围的独立研究。从分析结果来看周华坤、李英年、张宪洲、董世魁、曹广民等人形成的中英文作者合作集团非常具有代表性,对该主题研究具有重要贡献。

表 1 CNKI 与 WOS 发文量排名前 5 的作者

Table 1 Top 5 CNKI and WOS authors in terms of number of articles published

序号 Rank	作者 Author	中文发文量/篇 Number of CNKI	作者 Author	英文发文量/篇 Number of WOS
1	李英年	94	SK, Dong	70
2	赵新全	71	HK, Zhou	68
3	曹广民	65	GM, Cao	64
4	周华坤	64	XZ, Zhang	59
5	张法伟	60	SP, Wang	54

2.3 发文机构

CNKI 获取的文献包含研究单位 395 家,发文数量最多的单位是中国科学院西北高原生物研究所;WOS 获取的文献包含研究单位 1306 家,排名前 10 的单位均属于中国的科研机构。从分析结果(表 2)来看我国的科研机构对青藏高原草地研究的贡献度要远高于其他国家,综合贡献度最高的为中国科学院及其所属单位,其次为兰州大学与北京师范大学。

2.4 引用现状

分析文献的被引次数可以看出某篇文献在该领域中的重要性及代表性,从某种意义上来说高被引文献是大家公认具有价值的成果;两篇(或多篇论文)同时被后来一篇或多篇论文所引证,则称这两篇论文构成共被引关系^[29]。将 CNKI 与 WOS 被引次数排名前 5 的文献进行列举(表 3),并对 WOS 共引次数排名前 5 的文献进行列举(表 4)。从分析结果可以看出 CNKI 中获取的文献被引次数最高的是“青藏高原生态资产的价值评估”,年均被引频次为 220.47;WOS 中获取文献被引次数最高的是“Greening of the Earth and its drivers”,年均被引频次为 182.17;共引频率最高的文献是“Green-up dates in the Tibetan Plateau have continuously advanced from 1982 to 2011”。

2.5 研究热点与前沿

2.5.1 关键词聚类

关键词可以显示某一研究主题的研究热点。图 4 和图 5 分别为 CNKI 检索文献主要关键词网络图和 WOS 检索文献主要关键词网络图, CNKI 出现次数最多的关键词为气候变化、高寒草甸、NPP、NDVI 等; WOS 出现次数最多的关键词为 Climate change、Alpine meadow、NDVI 等, 从关键词出现次数排名可以看出, 青藏高原草地的研究热点总体集中在气候变化背景下利用遥感手段对高寒草地特征进行相关研究。图 6 和图 7 为关键词时间分布图, 从右下角时间轴可以看出该关键词分布时间的远近, 时间轴接近黄色代表关键词分布在近期, 近期分布的关键词有 NDVI、土壤理化性质、氮添加 (Nitrogen addition)、氮沉降等; 图 8 和图 9 为关键词热点图, 图中黄色区域为热点关键词, 从结果可以看出中英文文献的热点关键词均包含青藏高原 (Tibetan plateau)、高寒草甸 (Alpine meadow)、气候变化 (Climate change)、NDVI 等。

关键词聚类可以将研究方向进行划分, 聚类后的 Q 为聚类模块值, 一般认为 $Q > 0.3$ 时该聚类结构显著、 S 为聚类平均轮廓值, $S > 0.7$ 时聚类结果的可信程度较高。通过对 CNKI 的文献进行分析后得出 $Q = 0.5701$ 、 $S = 0.8337$; 对 WOS 获取的文献关键词进行聚类分析后得出 $Q = 0.4139$ 、 $S = 0.709$, 本次聚类结果均较为可信。成员数量排名前 5 的关键词聚类如图 10 和图 11 所示, CNKI 排名第 1 的关键词聚类为 Cluster 0, 聚类标签为高寒草甸, 包含关键词 113 个 (高寒草甸、生物量、放牧强度、退化草地、群落特征等); WOS 排名第 1 的关键词聚类为 Cluster 0, 聚类标签为 Climate change, 包含关键词 131 个 (carbon、diversity、biodiversity、productivity、nitrogen、community 等)。

从聚类结果可以看出关于青藏高原草地研究的文章主题集中在以下几个方面: 1) 青藏高原生物多样性考察; 2) 外界活动及放牧对草地的影响; 3) 养分循环对草地的影响以及草地群落中元素含量特征研究; 4) 对全球气候变化背景下青藏高原草地的物候研究、短期升温对青藏高原草地的影响; 5) 对高山草甸、冻土区的草地及土壤理化性质、土壤微生物进行研究; 6) 关于青藏高原草地生态系统的研究; 7) 利用遥感手段对大尺度宏观领域进行研究; 8) 对现有资源的保护与监测以及对破坏的植被进行修复。

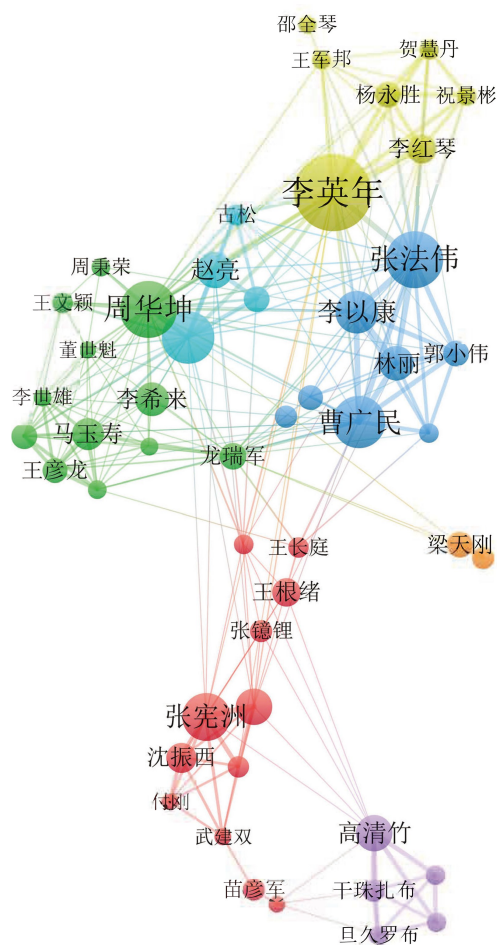


图 2 CNKI 主要作者合作网络

Fig.2 CNKI collaboration network of principal authors

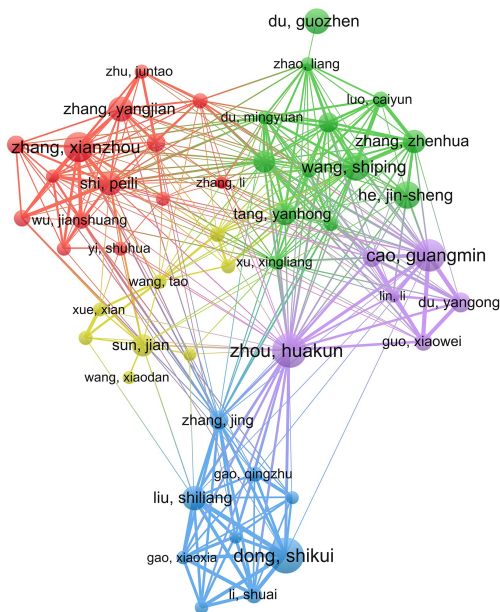


图 3 WOS 主要作者合作网络

Fig.3 WOS collaboration network of principal authors

表 2 发文量排名前 10 的科研单位

Table 2 Top 10 institutions in terms of number of articles published

序号 Rank	CNKI 机构名称 CNKI Institution Name	发文量/篇 Number of articles	百分比/% Percentage	WOS 机构名称 WOS Institution Name	发文量/篇 Number of articles	百分比/% Percentage
1	中国科学院西北高原生物研究所	323	11.91	Chinese Academy of Sciences	1559	62.79
2	中国科学院大学	288	10.62	University Of Chinese Academy of Sciences	575	23.16
3	中国科学院地理科学与资源研究所	286	10.55	Lanzhou University	381	15.34
4	兰州大学	229	8.44	Beijing Normal University	219	8.82
5	甘肃农业大学	138	5.09	Peking University	161	6.48
6	青海大学	120	4.42	Qinghai University	101	4.07
7	中国科学院寒区旱区环境与工程研究所	74	2.73	Chinese Academy of Agricultural Sciences	72	2.90
8	西北师范大学	72	2.65	Beijing Forestry University	67	2.70
9	中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所	56	2.06	CAS Center For Excellence In Tibetan Plateau Earth Sciences	61	2.46
10	北京师范大学	38	1.40	Northwest A&F University	61	2.46

表 3 被引次数排名前 5 的文献

Table 3 Top 5 cited literature

数据库 Database	序号 Rank	篇名 Title	作者 Author	期刊 Journal	年份 Year	被引频次 Citation frequency
CNKI	1	青藏高原生态资产的价值评估	谢高地等	自然资源学报	2003	4189
	2	中国自然草地生态系统服务价值	谢高地等	自然资源学报	2001	1772
	3	1981—2000 年中国陆地植被碳汇的估算	方精云等	中国科学(D 辑:地球科学)	2007	1371
	4	中国植被和土壤碳贮量	李克让等	中国科学(D 辑:地球科学)	2003	885
	5	中国草地生态系统服务功能间接价值评价	赵同谦等	生态学报	2004	802
WOS	1	Greening of the Earth and its drivers	SL, Piao 等	Nature Climate Change	2016	1093
	2	Rangeland degradation on the Qinghai-Tibetan plateau: A review of the evidence of its magnitude and causes	RB, Harris 等	Journal of Arid Environments	2009	692
	3	Winter and spring warming result in delayed spring phenology on the Tibetan Plateau	HY, Yu 等	Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America	2010	566
	4	Responses of permafrost to climate change and their environmental significance, Qinghai-Tibet Plateau	GD, Cheng 等	Journal of Geophysical Research-earth Surface	2007	563
	5	Climate warming reduces the temporal stability of plant community biomass production	ZY, Ma 等	Nature Communications	2017	470

表 4 共引次数排名前 5 的文献

Table 4 Top 5 co-cited literature

序号 Rank	文献标题 Title	作者 Author	共被引频率 Co-citation frequency	分区 Category zones	期刊影响因子 Journal impact factor
1	Green-up dates in the Tibetan Plateau have continuously advanced from 1982 to 2011	GL, Zhang 等	100	Q1	12.779
2	The impact of climate change and anthropogenic activities on alpine grassland over the Qinghai-Tibet Plateau	BX, Chen 等	79	Q1	6.424

续表

序号 Rank	文献标题 Title	作者 Author	共被引频率 Co-citation frequency	分区 Category zones	期刊影响因子 Journal impact factor
3	Degradation of Tibetan grasslands; Consequences for carbon and nutrient cycles	SB, Liu 等	78	Q1	6.576
4	The impacts of climate change and human activities on biogeochemical cycles on the Qinghai-Tibetan Plateau	H, Chen 等	78	Q1	13.212
5	Rangeland degradation on the Qinghai-Tibetan plateau: A review of the evidence of its magnitude and causes	RB, Harris 等	74	Q3	2.759

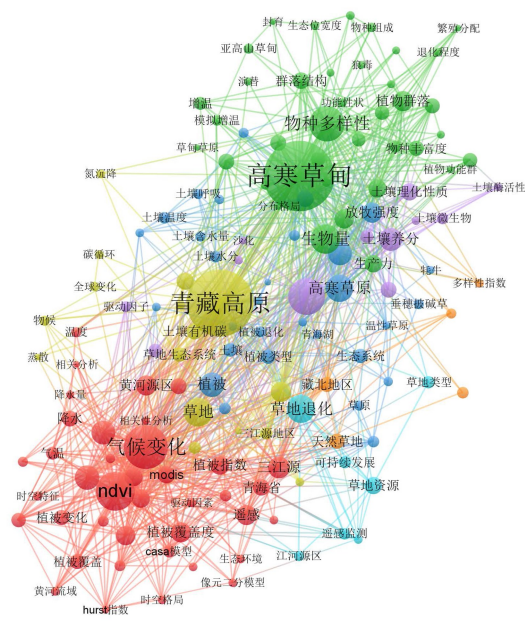


图 4 CNKI 关键词网络图

Fig.4 CNKI keyword network map

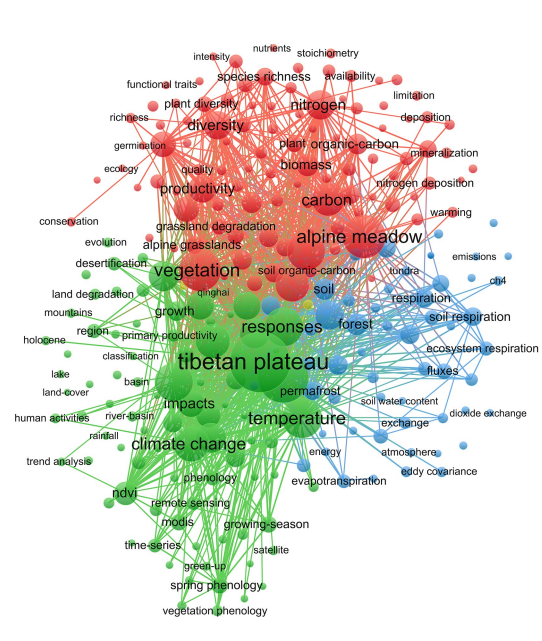


图 5 WOS 关键词网络图

Fig.5 WOS keyword network map

2.5.2 关键词突现

关键词突现性是指在一定时期某个关键词出现频次快速上升,表明该关键词在一定程度上代表领域前沿^[30];关键词时线图可以直观的显示该学科相关文献的主要关键词变化,图中关键词的位置表示该关键词出现的时间,图形的大小代表该关键词出现的频率,出现次数越多图形越大、相关发文数量越高。

图 12 与图 13 为关键词突现图,图中红色部分表明该关键词为热点关键词的时段;图 14 与图 15 为关键词时线,图可以看出主要关键词随时间的变化。根据关键词热点的突现时间以及主要关键词随时间变化,可以将青藏高原草地研究划分为以下几个阶段:1) 2000 年前主要突现词为草地资源、植被、forest 等,表明青藏高原草地的研究热点集中在对草地类型及其水平梯度与垂直梯度的变化规律进行全面细致的统计与考察,此类工作在上世纪 80 年代基本完成,同时对物候进行了考察与总结,并对资源的合理利用进行了规划;对于草地生态系统功能与物质循环、气候变化对草地的影响等研究在上世纪 90 年代已经逐步开始,遥感手段也开始应用于不同的学科,旨在建立我国高原生态系统安全屏障^[13, 31—33]。2) 2000—2010 年部分之前的热点关键词仍然在持续,同时新的热点关键词也不断出现例如 CO₂、Carbon dioxide exchange、Management、Evolution、Ecology、Soil respiration、退化草地、高寒草原、生物量、遥感等,表明进入 21 世纪以后,青藏高原作为气候变化的敏感区域随着气候因素的变化,草地生态系统功能与过程以及草地生态系统地上、地下生物量分布随时间变化、双循

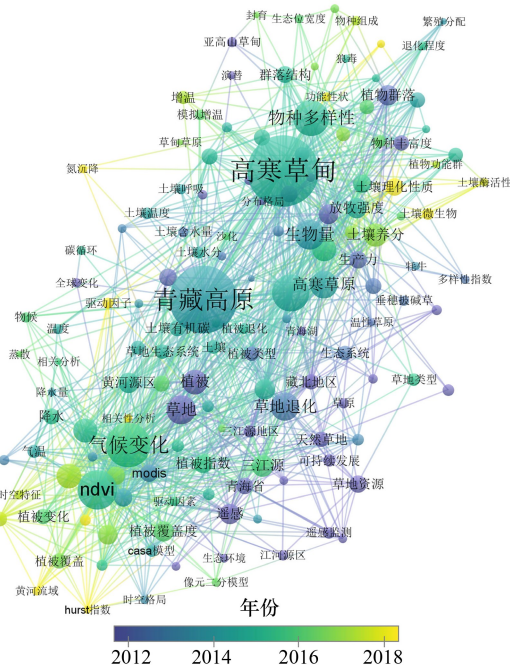


图 6 CNKI 关键词时间分布图

Fig.6 CNKI keyword time distribution map

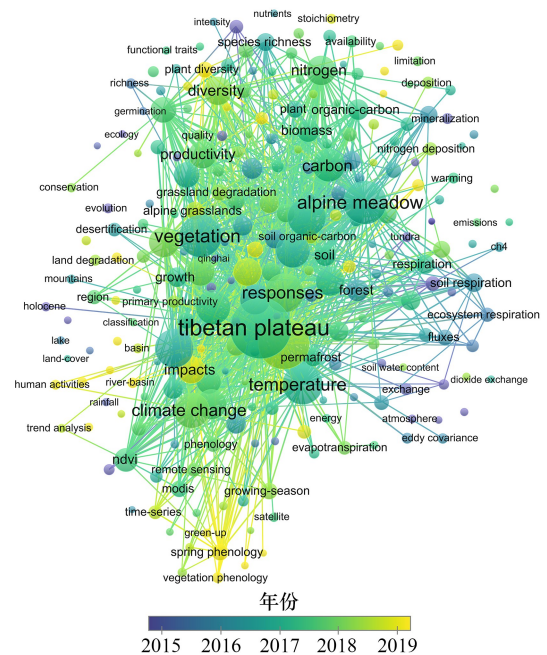


图 7 WOS 关键词时间分布图

Fig.7 WOS keyword time distribution map

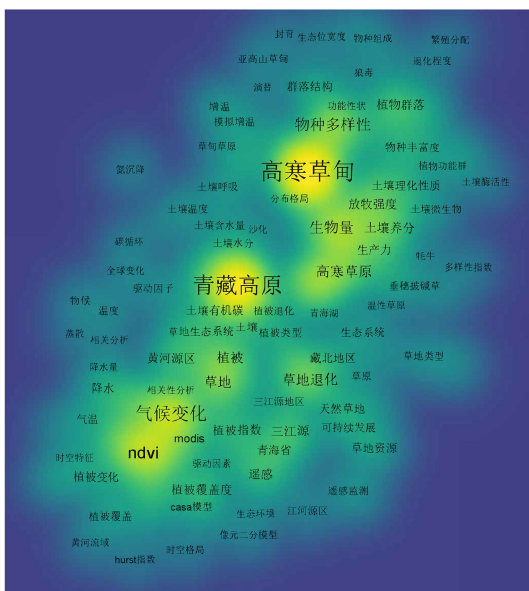


图 8 CNKI 关键词热点分布图

Fig.8 CNKI keyword hotspot distribution map

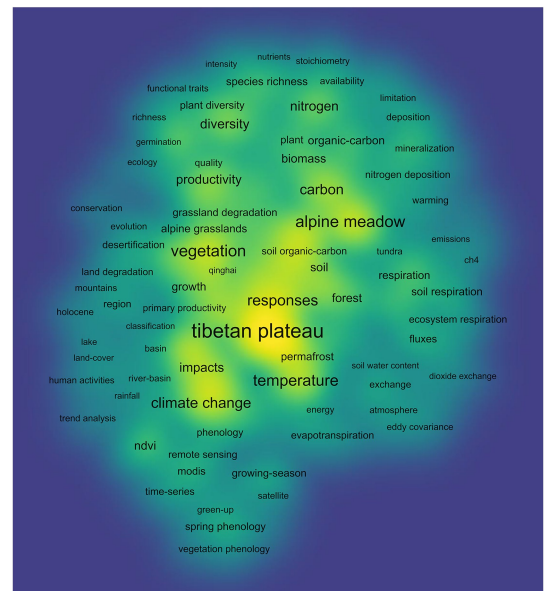


图 9 WOS 关键词时分布图

Fig.9 WOS keyword hotspot distribution map

环、土壤生物等开始被重点关注,主要侧重于对生态系统的物质流通方式(碳储量、碳循环等)以及温室效应给草地生态系统带来的影响进行研究。在大尺度的研究中遥感技术应用于不同的方向,例如植被覆盖度、植被时空变化、植被叶面积指数、土地利用类型、植被退化情况、气候变化引起的植被物候变化等,此外生态系统服务与价值评估等方面也开始深入研究^[34]。3) 2010 年以后随着之前研究的进步出现了新的热点关键词 Plant diversity、Nitrogen addition、Carbon balance、Land degradation、增温、降水、土壤养分、人类活动、模拟增温、

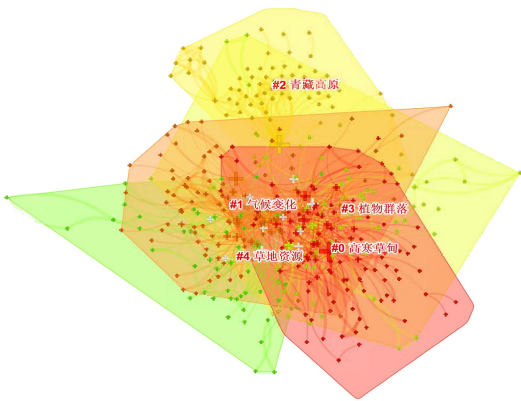


图 10 CNKI 关键词聚类图

Fig.10 CNKI keyword clustering map

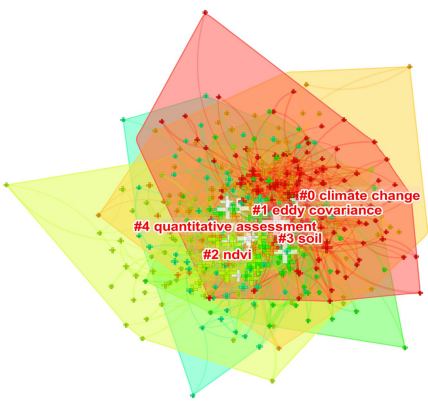


图 11 WOS 关键词聚类图

Fig.11 WOS keyword clustering map

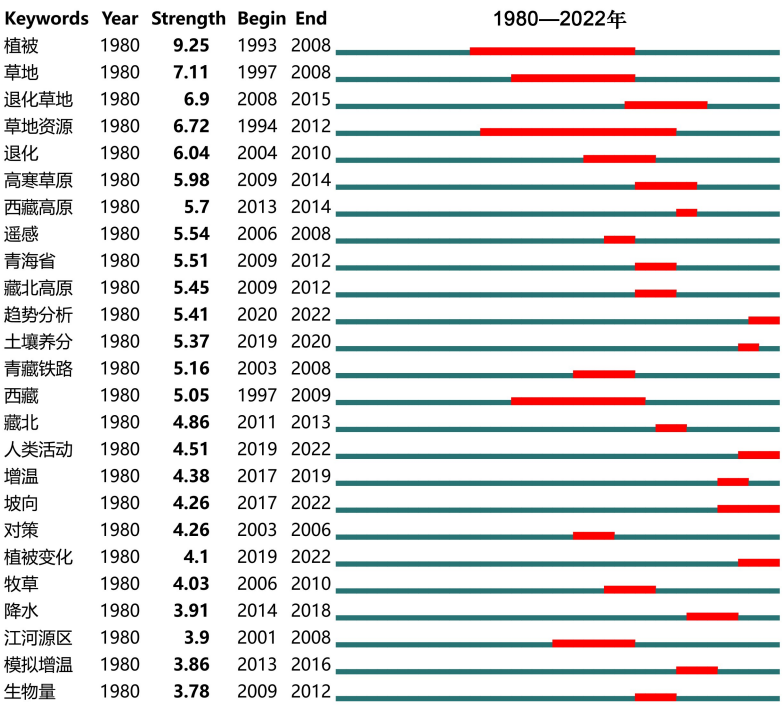


图 12 CNKI 突现性排名前 25 的关键词

Fig.12 Top 25 keywords with the strongest citation bursts for CNKI

植被变化等。这个时间范围内科学技术手段发展迅速,研究方法不断更新,出现了多学科、多领域交叉研究,例如遥感等宏观手段与物质流通等微观研究相结合,对青藏高原碳储量进行监测等。不同系列的遥感产品不断出现为大尺度范围的研究提供了便利,不同模型的开发可以结合多种气候因子与环境要素对草地生态系统功能、生物量变化等进行分析,对比之前的研究具有更加全面、方法进步、数据完整等优点。在上世纪中后期学者们就开始注重实现可持续发展与资源的合理利用,为加强生态文明建设对资源的合理利用与保护一直是草地研究的热点,当前学者们对青藏高原草地的资源利用与保护以及退化后恢复等工作投入了大量的研究,确保草地生态系统服务功能的产出与生态系统价值的可持续发展^[35—46]。

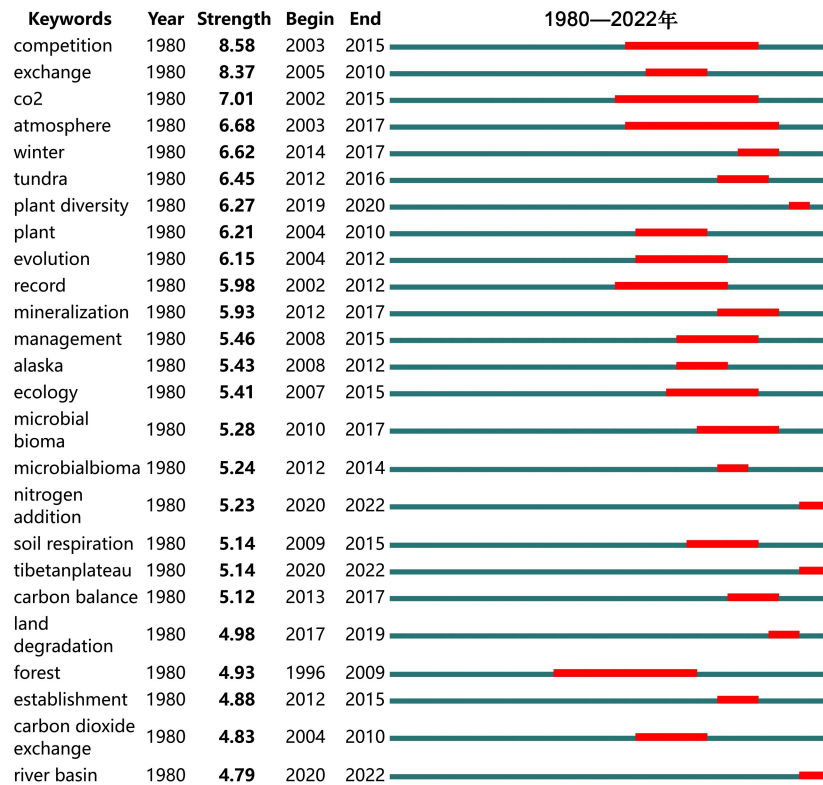


图 13 WOS 突现性排名前 25 的关键词

Fig.13 Top 25 keywords with the strongest citation bursts for WOS

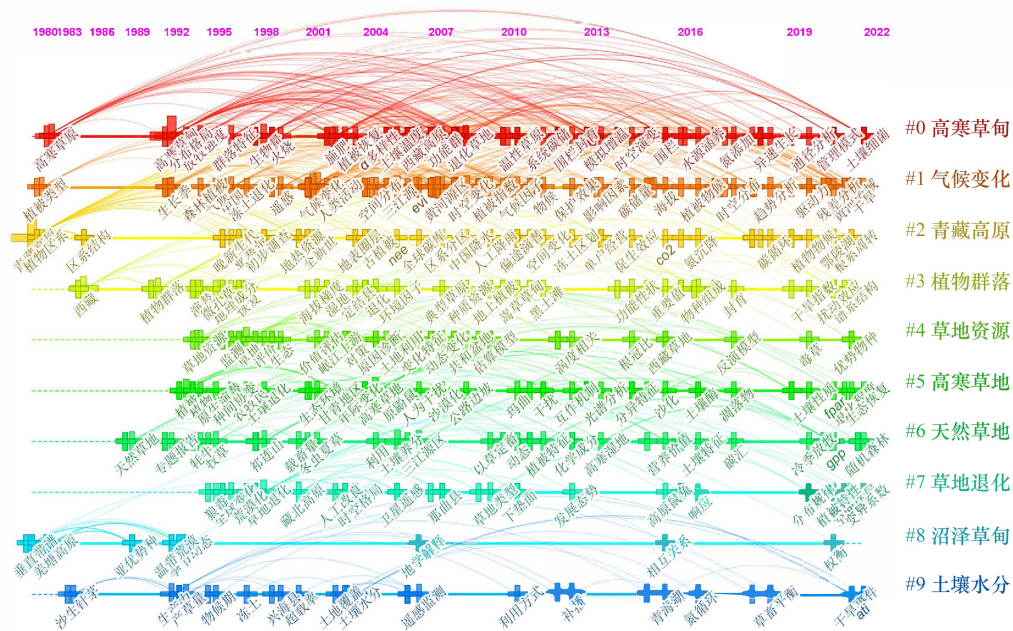


图 14 CNKI 关键词时线

Fig.14 CNKI Keyword Timeline

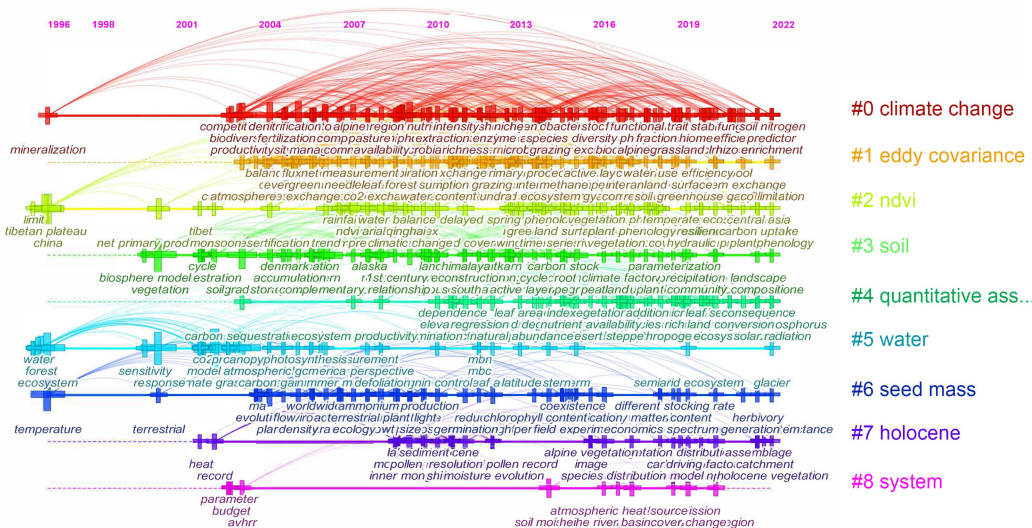


图 15 WOS 关键词时线

Fig.15 WOS Keyword Timeline

3 结论与展望

本文利用可视化分析软件,对 1980—2022 年有关青藏高原草地研究的文献进行分析,得出以下结论:

1) 发文态势:中英文发文数量自 1980 年以来呈现上升趋势,年均增长率为 25.89%,我国是相关发文量最多的国家,且英文文献的发文量也呈现快速增长趋势,年均增长率为 14.60%;中文发文最多的作者为李英年、英文发文最多的作者为 SK, Dong;对该研究主题具有代表性的前 3 个机构为中国科学院(含中国科学院大学)、兰州大学和北京师范大学。

2) 研究主题:关于青藏高原草地的研究大致可以分为三个阶段,第 1 阶段为野外考察,学者们通过野外调研对植被的分布规律以及物种多样性进行考察与总结,并对资源现状进行评估,对资源的合理利用提出规划与建议,具有重要的奠基作用;第 2 阶段为宏观监测与微观研究共同发展,遥感作为大规模研究的重要手段,为我国植被研究提供了丰富的数据以及处理方法,具有重要的作用,对生态系统物质、能量等微观规律进行研究是植被合理利用与衡量生态系统价值、可持续发展的重要指标来源,对后续的研究具有重要的指导意义;第 3 阶段全球气候变化已经作为重要的研究背景深入到各项研究当中,如何应对气候变化、植被对气候变化的响应以及对未来人类生存环境可能造成的影响等是当前研究的出发点。

3) 研究前沿:当前研究热点集中在草地生态系统物质循环、草地群落功能性状、草地群落土壤微生物及理化性质、草地群落生物量和生产力、草地生态系统服务价值、机器学习及反演模型对草地时空分布进行监测等方面,通过这些研究共同探究青藏高原草地的功能与价值。

总体上看 40 多年来关于青藏高原草地的研究已经取得了丰富的成果,但仍在以下方面可以进一步展开研究:1) 在全球气候变化背景下对青藏高原草地的研究要将宏观监测与微观研究相结合,继续构建全国草地监测网络,深入探究草地群落结构、功能与生态系统养分循环的相互作用机制以及地上—地下过程的耦合关系;2) 人类活动空前增加,对青藏高原草地生态系统的影响量化存在缺失,可以对该变量进行分析进而形成模型;3) 草地生态系统为畜牧业提供优良牧草,但不合理的放牧容易使草地退化,如何实现合理放牧与草地生态系统可持续发展具有重要意义;4) 青藏高原草地生态系统在生物多样性方面发挥了巨大作用,在生物多样性维持和草地生态系统稳定方面可以进一步深入研究。

参考文献 (References):

- [1] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 郑度, 李双成. 青藏高原生态资产的价值评估. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-196.
- [2] 谢高地, 鲁春霞, 肖玉, 郑度. 青藏高原高寒草地生态系统服务价值评估. 山地学报, 2003, 21(1): 50-55.
- [3] Xia J, Ma M, Liang T, Wu C, Yang Y, Zhang L, Zhang Y, Yuan W. Estimates of grassland biomass and turnover time on the Tibetan Plateau. *Environmental Research Letters*, 2018, 13(1): 014020.
- [4] 朴世龙, 方精云. 1982—1999 年青藏高原植被净第一性生产力及其时空变化. 自然资源学报, 2002, 17(3): 373-380.
- [5] Piao S L, Niu B, Zhu J T, Zhang X Z, Wang T, Wang S P, Liang E Y. Responses and feedback of the Tibetan Plateau's alpine ecosystem to climate change. *Chinese Science Bulletin*, 2019, 64(27): 2842-2855.
- [6] Cao J J, Adamowski J F, Deo R C, Xu X Y, Gong Y F, Feng Q. Grassland degradation on the Qinghai-Tibetan Plateau: reevaluation of causative factors. *Rangeland Ecology & Management*, 2019, 72(6): 988-995.
- [7] Chen H, Zhu Q A, Peng C H, Wu N, Wang Y F, Fang X Q, Gao Y H, Zhu D, Yang G, Tian J Q, Kang X M, Piao S L, Ouyang H, Xiang W H, Luo Z B, Jiang H, Song X Z, Zhang Y, Yu G R, Zhao X Q, Gong P, Yao T D, Wu J H. The impacts of climate change and human activities on biogeochemical cycles on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Global Change Biology*, 2013, 19(10): 2940-2955.
- [8] Ma Z Y, Liu H Y, Mi Z R, Zhang Z H, Wang Y H, Xu W, Jiang L, He J S. Climate warming reduces the temporal stability of plant community biomass production. *Nature Communications*, 2017, 8(1): 15378.
- [9] Chen B X, Zhang X Z, Tao J, Wu J S, Wang J S, Shi P L, Zhang Y J, Yu C Q. The impact of climate change and anthropogenic activities on alpine grassland over the Qinghai-Tibet Plateau. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2014, 189/190: 11-18.
- [10] Piao S L, Cui M D, Chen A P, Wang X H, Ciais P, Liu J, Tang Y H. Altitude and temperature dependence of change in the spring vegetation green-up date from 1982 to 2006 in the Qinghai-Xizang Plateau. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2011, 151(12): 1599-1608.
- [11] 朴世龙, 方精云. 最近 18 年来中国植被覆盖的动态变化. 第四纪研究, 2001, 21(4): 294-302.
- [12] 阎建忠, 吴莹莹, 张懿铨, 周绍宾, 石玉林. 青藏高原东部样带农牧民生计的多样化. 地理学报, 2009, 64(2): 221-233.
- [13] 马玉寿, 郎百宁, 王启基. “黑土型”退化草地研究工作的回顾与展望. 草业科学, 1999, 16(2): 5-9.
- [14] Li M, Zhang X Z, Wu J S, Ding Q N, Niu B, He Y T. Declining human activity intensity on alpine grasslands of the Tibetan Plateau. *Journal of Environmental Management*, 2021, 296: 113198.
- [15] Li X C, Wu P L, Ding Y H, Liu Y J, Li Q Q. Spatial-temporal variation of precipitation recycling over the Tibetan Plateau under climate warming. *Atmospheric Research*, 2022, 280: 106431.
- [16] 孙鸿烈, 郑度, 姚檀栋, 张懿铨. 青藏高原国家生态安全屏障保护与建设. 地理学报, 2012, 67(1): 3-12.
- [17] 周华坤, 赵新全, 周立, 刘伟, 李英年, 唐艳鸿. 青藏高原高寒草甸的植被退化与土壤退化特征研究. 草业学报, 2005, 14(3): 31-40.
- [18] 杨元合, 朴世龙. 青藏高原草地植被覆盖变化及其与气候因子的关系. 植物生态学报, 2006, 30(1): 1-8.
- [19] Guan S, An N, Zong N, He Y T, Shi P L, Zhang J J, He N P. Climate warming impacts on soil organic carbon fractions and aggregate stability in a Tibetan alpine meadow. *Soil Biology and Biochemistry*, 2018, 116: 224-236.
- [20] Wang H, Liu H Y, Cao G M, Ma Z Y, Li Y K, Zhang F W, Zhao X, Zhao X Q, Jiang L, Sanders N J, Classen A T, He J S. Alpine grassland plants grow earlier and faster but biomass remains unchanged over 35 years of climate change. *Ecology Letters*, 2020, 23(4): 701-710.
- [21] Hu Z M, Yu G R, Fu Y L, Sun X M, Li Y N, Shi P L, Wang Y F, Zheng Z M. Effects of vegetation control on ecosystem water use efficiency within and among four grassland ecosystems in China. *Global Change Biology*, 2008, 14(7): 1609-1619.
- [22] Liu H Y, Mi Z R, Lin L, Wang Y H, Zhang Z H, Zhang F W, Wang H, Liu L L, Zhu B, Cao G M, Zhao X Q, Sanders N J, Classen A T, Reich P B, He J S. Shifting plant species composition in response to climate change stabilizes grassland primary production. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2018, 115(16): 4051-4056.
- [23] Piao S L, Tan K, Nan H J, Ciais P, Fang J Y, Wang T, Vuichard N, Zhu B. Impacts of climate and CO₂ changes on the vegetation growth and carbon balance of Qinghai-Tibetan grasslands over the past five decades. *Global and Planetary Change*, 2012, 98/99: 73-80.
- [24] 李进, 陈仕勇, 李世丹, 陈有军, 周青平. 基于文献计量分析的披碱草属植物研究进展. 草业科学, 2021, 38(9): 1793-1804.
- [25] 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. 生态学报, 2014, 34(13): 3693-3703.
- [26] 廖胜姣. 科学知识图谱绘制工具 VOSviewer 与 Citespace 的比较研究. 科技情报开发与经济, 2011, 21(7): 137-139.
- [27] 赵海莉, 张婧. 基于 Citespace 和 Vosviewer 的中国水旱灾害研究进展与热点分析. 生态学报, 2020, 40(12): 4219-4228.
- [28] 串丽敏, 郑怀国, 赵同科, 赵静娟, 颜志辉, 张晓静, 谭翠萍. 基于 Web of Science 数据库的土壤污染修复领域发展态势分析. 农业环境科学学报, 2016, 35(1): 12-20.
- [29] 谭永滨, 黄敏婷, 程朋根, 艾金泉, 周思延. 全球湖泊湿地研究的文献计量分析及可视化表达. 西南大学学报: 自然科学版, 2021,

43(2): 120-129.

- [30] 张增可, 王齐, 吴雅华, 刘兴诏, 黄柳菁. 基于 CiteSpace 植物功能性状的研究进展. 生态学报, 2020, 40(3): 1101-1112.
- [31] 恰加, 杜铁瑛. 可可西里地区草地资源特征及开发利用. 中国草地, 1993, 15(4): 9-15.
- [32] 罗天祥, 李文华, 冷允法, 岳燕珍. 青藏高原自然植被总生物量的估算与净初级生产量的潜在分布. 地理研究, 1998, 17(4): 337-344.
- [33] 王秀红, 郑度. 青藏高原高寒草甸资源的可持续利用. 资源科学, 1999, 21(6): 38-42.
- [34] 王根绪, 程国栋, 沈永平. 青藏高原草地土壤有机碳库及其全球意义. 冰川冻土, 2002, 24(6): 693-700.
- [35] 杨阔, 黄建辉, 董丹, 马文红, 贺金生. 青藏高原草地植物群落冠层叶片氮磷化学计量学分析. 植物生态学报, 2010, 34(1): 17-22.
- [36] 岳广阳, 赵林, 赵拥华, 李元寿. 青藏高原草地生态系统碳通量研究进展. 冰川冻土, 2010, 32(1): 166-174.
- [37] 王莺, 夏文韬, 梁天刚, 王超. 基于 MODIS 植被指数的甘南草地净初级生产力时空变化研究. 草业学报, 2010, 19(1): 201-210.
- [38] 方精云, 杨元合, 马文红, 安尼瓦尔·买买提, 沈海花. 中国草地生态系统碳库及其变化. 中国科学: 生命科学, 2010, 40(7): 566-576.
- [39] 丁明军, 张懿铨, 刘林山, 王兆锋. 1982—2009 年青藏高原草地覆盖度时空变化特征. 自然资源学报, 2010, 25(12): 2114-2122.
- [40] 赵拥华, 赵林, 杜二计, 刘广岳, 岳广阳. 唐古拉地区高寒草甸生态系统 CO₂ 通量特征研究. 高原气象, 2011, 30(2): 525-531.
- [41] 王军邦, 黄玫, 林小惠. 青藏高原草地生态系统碳收支研究进展. 地理科学进展, 2012, 31(1): 123-128.
- [42] 陈军强, 张蕊, 侯尧宸, 马丽娜, 丁路明, 龙瑞军, 尚占环. 亚高山草甸植物群落物种多样性与群落 C、N、P 生态化学计量的关系. 植物生态学报, 2013, 37(11): 979-987.
- [43] 刘双俞, 张丽, 王翠珍, 闫敏, 周宇, 鹿琳琳. 基于 MODIS 数据的青藏高原植被物候变化趋势研究(2000—2010 年). 遥感信息, 2014, 29(6): 25-30.
- [44] 张继平, 刘春兰, 郝海广, 孙莉, 乔青, 王辉, 宁杨翠. 基于 MODIS GPP/NPP 数据的三江源地区草地生态系统碳储量及碳汇量时空变化研究. 生态环境学报, 2015, 24(1): 8-13.
- [45] 曹旭娟, 干珠扎布, 梁艳, 高清竹, 张勇, 李玉娥, 万运帆, 旦久罗布. 基于 NDVI 的藏北地区草地退化时空分布特征分析. 草业学报, 2016, 25(3): 1-8.
- [46] 张中华, 周华坤, 赵新全, 姚步青, 马真, 董全民, 张振华, 王文颖, 杨元武. 青藏高原高寒草地生物多样性与生态系统功能的关系. 生物多样性, 2018, 26(2): 111-129.