•研究报告•

21世纪以来蕨类植物研究论文的发表情况: 基于Web of Science的数据统计

张开梅^{1,2*} 沈羽^{1,2} 周晓丽^{1,2} 方炎明^{1,2*}

1 (南京林业大学南方现代林业协同创新中心, 生物与环境学院, 亚热带森林生物多样性保护国家林业和草原局重点实验室, 南京 210037)

2 (国家环境保护武夷山生态环境科学观测研究站, 南京 210037)

摘要: 蕨类植物是地球上起源最为古老的维管植物, 在陆生植物演化中具有重要意义。本文通过Web of Science核心数据库(Core Collection)对目前所有关于“fern”、“lycophyte”、“pteridophyte”、“pteridophyta”等的科研论文进行了分析。结果表明: (1) 2000年后, 蕨类植物论文数量增加迅速, 特别是2006年以来增加显著, 现在年均已突破600篇; (2) 2010年以来的以蕨类植物为研究材料和对象的学科和研究领域变得越来越多元化, 多学科结合和交叉的研究方向成为新趋势; (3) 中国正在成为蕨类植物研究的热点国家并且成果显著; (4) 中国蕨类植物研究在快速发展的同时也出现了各研究机构之间的发展不同步。期望本论文能给蕨类植物的相关研究提供新的方向, 为中国蕨类植物工作者提供借鉴。

关键词: 蕨类植物; Web of Science; 数据分析; 文献计量分析

Analysis of fern research article trends across the Web of Science in the 21st century

Kaimei Zhang^{1,2*}, Yu Shen^{1,2}, Xiaoli Zhou^{1,2}, Yanming Fang^{1,2*}

1 Co-Innovation Center for Sustainable Forestry in Southern China, College of Biology and the Environment, Key Laboratory of State Forestry and Grassland Administration on Subtropical Forest Biodiversity Conservation, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037

2 State Environmental Protection Scientific Observation and Research Station for Ecology and Environment of Wuyi Mountains, Nanjing 210037

Abstract: Ferns are a group of plants with a long history, and thus they provide important experimental materials in scientific studies. This study analyzes all papers that describe “fern”, “lycophyte”, “pteridophyte” and “pteridophyta” in the Web of Science database published from January 1st, 2000 to December 31st, 2018. Our four main results were: (1) After 2000, the number of scientific papers about ferns increased rapidly, with a significant increase after 2006. Today, the number of studies annually exceeds 600. (2) Since 2010, interdisciplinary fern research has become more common, in contrast to the fern-specific studies that were more common before 2010. (3) China has become a major leader in the number of fern and lycophyte publications. (4) Finally, there still needs some efforts for Chinese researchers in the following time. With the four above conclusions, our research review highlights new opportunities and directions for research related to ferns and serves as a guide fern researchers in China.

Key words: fern; Web of Science; data analysis; bibliometric analysis

蕨类植物是高等植物的一大类群, 目前描述蕨类植物的较为流行和准确的词是“fern”和“lycophyte”, 之前也有使用“pteridophyte”和“pteridoph-

yta”等词。蕨类植物是生物在进化过程中由海洋向陆地过渡的一类生物。这类植物既有低等植物的孢子类型的繁殖系统(通过颈卵器和孢子器进行繁殖),

收稿日期: 2018-11-04; 接受日期: 2019-05-16

基金项目: 生态环境部生物多样性调查、观测和评估项目和中央级科学事业单位修缮购置专项(2010002002)

* 共同通讯作者 Co-authors for correspondence. E-mail: kaimeizhang@163.com; 2335249230@qq.com

在形态上还兼有根茎叶的分化,故而也称为茎叶体植物,即在构造上有组织分化,生殖器官是多细胞,合子发育时在母体内发育成胚(Cantino et al, 2007)。蕨类植物世代交替明显,无性世代(孢子体时期)较有性世代(配子体时期)占优势,故而也是高等植物中较低级的一类。相对于目前所处世代较为矮小的蕨类植株而言,在晚古生代(至今约3.6亿年前),蕨类植物常为高大木本植物,也能够形成繁盛的森林(Choo & Escapa, 2018)。近代的蕨类植物可以分为5个类群:松叶蕨亚门、石松亚门、水韭亚门、楔叶亚门和真蕨亚门(Pryer et al, 2004)。全球目前尚存蕨类植物约1万多种,主要分布于中低海拔的热带和亚热带地区(Christenhusz & Byng, 2016)。蕨类植物在维持生物多样性与生态系统稳定性方面起着关键性的作用,是生态系统不可或缺的重要一员;在研究物种的起源、进化与分类方面具有重要的参考价值;在环境治理、生态修复、食用、药用和景观园林等方面,其应用价值亦日益凸显(Ma et al, 2001; Murakami et al, 2005)。蕨类植物在自然科学研究中一直是重要的关注对象。

根据本文所用检索方法,自2000年以来关于蕨类植物的研究论文约有9,445篇,其中2010年以后有5,716篇,占研究论文总数的60.51%。而进入21世纪后,植物学研究论文自Web of Science数据库可查阶段开始共计有1,397,539篇(基于Web of Science 2018年12月31日的数据统计),其中蕨类植物占植物学研究的约0.68%,而2010年后的蕨类植物研究约占0.85%,可见蕨类植物在植物学研究中的比例

相对稳定,并正在逐步增加。本研究基于Web of Science检索和分析蕨类植物研究的相关论文,以期能进一步了解蕨类植物研究的发展方向,为未来的研究提供全球视角。

1 研究方法

基于Web of Science Core Collection (Web of Science核心库)中的Science Citation Index (SCI)论文数据进行检索,版本更新日期为2018年6月,截止时间为2018年12月31日。□定□索主□□“fern”、“lycophyte”、“pteridophyte”和“pteridophyta”等描述蕨类植物的词,以“or”连接词检索;同时还相应检索了主题、标题和关键词等;检索时间分为“初始值2000–2009”和“2010–2018”;以“and”模式进行搜索。研究论文主要以自然科学为主,已排除非自然科学领域的论文。

2 结果

2.1 以蕨类植物为研究材料的论文数量的变化

如图1所示,在2000–2010年,以蕨类植物为研究材料的论文数量呈线性增加。从2000–2006年的每年不到400篇,到2010年后平均每年600篇左右,在2016年到达最大值(720篇/年)。其中,2000–2009年论文数量共3,733篇,2010–2018年论文数量为5,716篇。可见蕨类植物得到了越来越多的关注。

2.2 以蕨类植物为研究材料的研究领域的变化

蕨类植物是一类在传统植物学及交叉学科领域研究中的重要材料,包括植物系统分类、植物进

图1 基于Web of Science的以蕨类植物为研究材料的论文数量变化(2000–2018年)

Fig. 1 The paper number of fern research based on Web of Science database between 2000 and 2018

化、植物区系普查等(Ebihara et al, 2012)。近年来, 随着科学技术的发展, 越来越多的新技术新手段用于蕨类植物的研究。在2010年以前(表1), 植物科学在自然科学总研究数量中占核心地位, 共1,486篇, 占总数的43.60% (研究领域或有重叠)。其次是环境科学与生态学及古生物学, 分别占19.29%和7.90%。在2010年以前交叉学科的研究不是很多, 往往以单一学科为主。

2010年后, 植物科学研究依然占据总研究学科论文数量的核心地位, 论文数量为2,274篇, 占总数的39.78% (研究领域或有重叠), 比2000–2010年下降约4% (表1)。但古生物学论文数量出现了显著性的增加(174篇), 达到了469篇, 占研究论文总数的8.21%。而以蕨类植物为研究材料的环境科学与生态学仍然占有重要的比重, 总比例为14.26%。另外, 我们还发现多学科交叉研究在2010年以后得到了迅速的发展, 研究论文数量(地理科学研究+交叉+化学研究)为294篇, 占研究论文总数的5.13%, 其中, 地理科学的研究论文数量增加了179篇, 占总数的7.61%。

2.3 以蕨类植物为研究材料的论文学者和组织的变化

我们进一步统计了2000–2009年和2010–2018年这两个时间段不同学者在蕨类植物论文中的贡献。为了方便统计作者的贡献度, 本文只统计了作者姓名的出现频率。

2000–2009年以蕨类植物为研究材料和对象的研究中, Ma LQ以55篇论文居首, 占总论文数的

1.47%; Schneider H论文数量为50篇, 占总数的1.39%; Kessler M论文数量为40篇, 占总数的1.07%; Rothwell GW和Smith AR的论文数量均为39篇, 各占总数的1.05% (图2A)。

在2010–2018年, 以蕨类植物为研究材料和对象的研究中, Kessler M以91篇居首, 占论文总数的1.60%; Zhang LB的论文贡献数量为79篇, 占总数

表1 基于研究领域分类的以蕨类植物为研究材料的论文数量变化(2000–2018年)

Table 1 The paper number of fern research fields (2000–2018) in view of the research subjects

科目 Subject	2000–2009	2010–2018
植物科学 Plant sciences	1,485	2,274
环境科学与生态学 Environmental sciences and ecology	720	815
古生物学 Paleontology	295	469
地质学 Geology	256	435
生物化学与分子生物学 Biochemistry and molecular biology	232	245
农学 Agriculture	207	207
化学 Chemistry	201	262
进化生物学 Evolutionary biology	172	294
林学 Forestry	158	159
生物多样性保护 Biodiversity conservation	133	164
工程学 Engineering	128	251
自然地理学 Physical geography	112	–
生命科学与生命医学 Life sciences and biomedicine	104	185
遗传学 Genetics heredity	91	159
科学技术相关学科 Other topics about science technology	91	294
药理药理学 Pharmacology pharmacy	–	167

图2 发表蕨类论文数量最多的前15位作者的论文数量变化(2000–2018年)。(A) 2000–2009; (B) 2010–2018。
Fig. 2 The paper number of fern research (2000–2018) based on the top 15 authors. (A) 2000–2009; (B) 2010–2018.

图3 基于研究单位分类的以蕨类植物为研究材料的论文数量变化(2000–2018年)

Fig. 3 The paper number changes of fern research (2000–2018) in view of the organizations

的1.38%；随后是Schneider H和Smith AR，均为66篇，各占总数的1.20% (图2B)。

对所有科研工作者的工作单位进行分类分析。由于国际合作和跨学科领域合作的加强，我们使用Clarivate Analysis中最新的Organization-Enhanced功能进行分析。数据结果显示(图3)，2000–2018年中，以蕨类植物为研究材料和对象的论文中，中国科学院(包括中国科学院大学)发文数位居第一，共629篇，占发文总数的6.94%；美国佛罗里达大学和加州大学分别发文273和272篇；法国国家科学研究中心(CNRS)发文数量为259篇；拉丁美洲统一国家科学技术研究理事会发文数为186篇。

3 讨论

首先，基于2000–2009年和2010–2018年以蕨类植物为研究材料和对象的论文数量变化研究，发现论文数量在2010年后增长迅速，相比于2010年以前的10年，2010–2018年论文总数增加了1,983篇，是2000–2009年的1.53倍。同时，这一增长速率也体现在以蕨类植物为研究材料和对象的研究领域和学科上：比如植物科学研究领域，蕨类论文数量增长了1.53倍。相同的情况也在环境科学与生态学及古生物学研究领域得到体现。这说明研究领域和学科研究的深入发展使得以蕨类植物为研究材料和对象的论文数量出现了显著增长。同时，在2010年后越来越多的交叉学科出现在以蕨类植物为研究材

料和对象的论文中，包括生命科学、地理科学以及一些工程类学科。

其次，研究人员对研究的深入和研究热点的挖掘也为以蕨类植物为研究材料和对象的论文数量增长起到了推动作用。比如，2000–2009年阶段，Ma LQ教授研究蕨类植物在环境修复方面的应用，主要是蜈蚣草(*Pteris vittata*)对土壤砷污染的修复(Ma et al, 2001; Zhang et al, 2002; Yoon et al, 2006)。她的团队于2001年研究发现，蜈蚣草对砷具有超富集能力(Ma et al, 2001)。此后，有关蕨类植物对金属或非金属污染物的吸收或在环境治理方面的应用成为蕨类植物研究最热门的一个方向，使得以蕨类植物作为研究材料的环境科学与生态学的研究成为当时的一个热点话题。但进入2010年后，虽然蕨类植物的研究在环境科学与生态学方面还是一个热点，但缺乏主要参与者和主要研究对象，是值得环境科学研究人员关注的。

Harald Schneider (Schneider H)、Alan R. Smith (Smith AR)、Michael Kessler (Kessler M)和Kathleen M. Pryer (Pryer KM) 4位教授是在2000–2009年和2010–2018年两个时间段同时位列前15位的研究人员。Schneider教授的主要研究方向为进化生物学领域，主要关注蕨类植物的系统发育、生物多样性以及分类系统研究。数据显示，Schneider教授以115篇论文的数量位居2000–2018年这一时间段的首位(Boyd et al, 2004; Schneider et al, 2004; Schneider,

2016)。他的研究活跃性在2000年后较高。同样的,植物分类学家Smith教授主要从事蕨类植物分类研究。Smith等(2006)在结合当前蕨类分子系统研究新证据的基础上提出了一个新的世界蕨类植物分类系统,该系统受到世界蕨类植物研究学者的广泛认可。目前,Smith教授主要以合作者的身份参与研究。另外,值得关注的还有Kessler教授,他也是一位蕨类植物分类学家,但他的研究更趋于地区性,更偏重于区域性的生物多样性和种质资源调查(Kessler, 2001; Kromer et al, 2005; Kessler & Smith, 2017)。Kessler教授主要从事蕨类植物的系统发育、分类和区域性的蕨类种质资源研究,他的研究工作在过去的20年里得到了广泛的认可。从研究内容我们也发现,蕨类植物的系统分类在进入2000年后得到了快速的发展,这是一个承前启后的研究方向,据推测此项研究还将继续深入。另外,我们看到Pryer教授是一位发表论文数量稳定的研究人员,她的研究工作主要集中在现代蕨类的演化规律(Kromer et al, 2005; Wikstrom & Pryer, 2005)。这是与前三位研究人员不同的地方,这也是为什么古生物研究中以蕨类植物为研究材料和对象的论文数量在过去的20年间均占有重要地位的原因。这也说明了蕨类植物是一种非常重要的维管植物,它在研究生命进化、物种起源以及现代生物演化方面具有重要的地位和意义。Schneider教授、Smith教授和Pryer教授具有较多的共同作者论文。由此可以推断,蕨类植物的系统分类在进入2000年后得到了较好的发展,也使得越来越多的研究人员投身到这一研究领域。同时,研究人员之间的共同合作也是目前研究发展的趋势。

最新的分类方法显示,中国科学院的发文数量已经达到世界一流水平,紧随其后的是美国佛罗里达大学和加州大学。但除中国科学院进入前10榜单外,其他中国高校并没有入围,这也体现了我国蕨类植物研究发展的不均衡现象。

综上所述,首先,以蕨类植物为研究材料的科学论文数量在2000年后得到了显著的增加,特别是2006年以后;其次,以蕨类植物为研究材料的研究领域变得越来越多元化,多学科结合和交叉的研究方向成为研究新趋势;第三,我国正在成为蕨类植物研究的热点国家并且成果显著;最后,我国蕨类植物研究具有不均衡现象,应加强各研究单位之间

的合作,结合多学科领域研究方法和研究思路并将其运用到蕨类植物研究的工作中来。蕨类植物研究的相关科研工作者应抓住机会,为我国蕨类植物研究工作取得更大的成就作出努力。

参考文献

- Boyd PW, Law CS, Wong CS, Nojiri Y, Tsuda A, Levasseur M, Takeda S, Rivkin R, Harrison PJ, Strzepek R, Gower J, McKay M, Abraham E, Arychuk M, Barwell-Clarke J, Crawford W, Crawford D, Hale M, Harada K, Johnson K, Kiyosawa H, Kudo I, Marchetti A, Miller W, Needoba J, Nishioka J, Ogawa H, Page J, Robert M, Saito H, Sastri A, Sherry N, Soutar T, Sutherland N, Taira Y, Whitney F, Wong SK, Yoshimura T (2004) The decline and fate of an iron-induced subarctic phytoplankton bloom. *Nature*, 428, 549–553.
- Cantino PD, Doyle JA, Graham SW, Judd WS, Olmstead RG, Soltis DE, Soltis PS, Donoghue MJ (2007) Towards a phylogenetic nomenclature of Tracheophyta. *Taxon*, 56, 639–641.
- Choo TYS, Escapa IH (2018) Assessing the evolutionary history of the fern family Dipteridaceae (Gleicheniales) by incorporating both extant and extinct members in a combined phylogenetic study. *American Journal of Botany*, 105, 1315–1328.
- Christenhusz MJM, Byng JW (2016) The number of known plants species in the world and its annual increase. *Phytotaxa*, 201–217.
- Ebihara A, Fraser-Jenkins, CR, Parris BS, Zhang XC, Yan YH, Chiou WL, Chang HM, Lindsay S, Middleton D, Kato M, Praptosuwiryo TN, Amoroso VB, Barcelona JF, Ranil RHG, Park CH, Murakami N, Hoya A (2012) Rare and threatened pteridophytes of Asia I. An enumeration of narrowly distributed taxa. *Bulletin of the National Science Museum Series B: Botany*, 38, 93–119.
- Kessler M (2001) Pteridophyte species richness in Andean forests in Bolivia. *Biodiversity and Conservation*, 10, 1473–1495.
- Kessler M, Smith AR (2017) Prodrum of a fern flora for Bolivia. I. General introduction and key to families. *Phytotaxa*, 327, 57–89.
- Kromer T, Kessler M, Gradstein SR, Acebey A (2005) Diversity patterns of vascular epiphytes along an elevational gradient in the Andes. *Journal of Biogeography*, 32, 1799–1809.
- Ma LQ, Komar KM, Tu C, Zhang W, Cai Y, Kennelley ED (2001) A fern that hyperaccumulates arsenic. *Nature*, 409, 579.
- Murakami K, Maenaka H, Morimoto Y (2005) Factors influencing species diversity of ferns and fern allies in fragmented forest patches in the Kyoto city area. *Landscape and Urban Planning*, 70, 221–229.
- Pryer KM, Schuettpelz E, Wolf PG, Schneider H, Smith AR,

- Cranfill R (2004) Phylogeny and evolution of ferns (monilophytes) with a focus on the early leptosporangiate divergences. *American Journal of Botany*, 91, 1582–1598.
- Schneider H (2016) The ghost of the Cretaceous terrestrial revolution in the evolution of fern-sawfly associations. *Journal of Systematics and Evolution*, 54, 93–103.
- Schneider H, Smith AR, Cranfill R, Hildebrand TJ, Haufler CH, Ranker TA (2004) Unraveling the phylogeny of polygrammoid ferns (Polypodiaceae and Grammitidaceae): Exploring aspects of the diversification of epiphytic plants. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 31, 1041–1063.
- Smith AR, Pryer KM, Schuettpelz E, Korall P, Schneider H, Wolf PG (2006) A classification for extant ferns, *Taxon*, 55, 705–431.
- Wikstrom N, Pryer KM (2005) Incongruence between primary sequence data and the distribution of a mitochondrial atp1 group II intron among ferns and horsetails. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 36, 484–493.
- Yoon J, Cao X, Zhou Q, Ma LQ (2006) Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. *Science of the Total Environment*, 368, 456–464.
- Zhang W, Cai Y, Tu C, Ma LQ (2002) Arsenic speciation and distribution in an arsenic hyperaccumulating plant. *Science of the Total Environment*, 300, 167–177.

(责任编辑: 严岳鸿 责任编辑: 黄祥忠)