



中国现代花粉数据集

陈海燕¹ 徐德宇¹ 廖梦娜^{1,2} 李凯^{1,2} 倪健^{1,2*} 曹现勇³ 程波⁴ 郝秀东⁵
孔昭宸⁶ 李升峰⁷ 李小强⁸ 刘光琇⁹ 刘平妹¹⁰ 刘兴起¹¹ 孙湘君¹² 唐领余¹³
魏海成¹⁴ 许清海¹⁵ 阎顺¹⁶ 羊向东¹⁷ 杨振京¹⁸ 于革¹⁷ 张芸⁶ 张志勇¹⁹
赵克良⁸ 郑卓²⁰ Ulrike HERZSCHUH²¹

¹浙江师范大学化学与生命科学学院, 浙江金华 321004; ²浙江金华山亚热带森林生态系统野外科学观测研究站, 浙江金华 321004; ³中国科学院青藏高原研究所青藏高原地球系统科学国家重点实验室, 北京 100101; ⁴华中师范大学城市与环境科学学院, 武汉 430079; ⁵南宁师范大学北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室, 南宁 530001; ⁶中国科学院植物研究所, 北京 100093; ⁷南京大学地理与海洋科学学院, 南京 210023; ⁸中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 北京 100044; ⁹中国科学院西北生态环境资源研究院, 兰州 730000; ¹⁰台湾大学地质科学系, 中国台北 10617; ¹¹首都师范大学资源环境与旅游学院, 北京 100048; ¹²同济大学海洋与地球科学学院, 上海 200092; ¹³中国科学院南京地质古生物研究所, 南京 210008; ¹⁴中国科学院青海盐湖研究所, 西宁 810008; ¹⁵河北师范大学资源与环境科学学院, 石家庄 050027; ¹⁶中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; ¹⁷中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008; ¹⁸中国地质科学院水文地质与环境地质研究所, 石家庄 050061; ¹⁹中国科学院庐山植物园, 江西九江 332900; ²⁰中山大学地球科学与工程学院, 广州 510275; ²¹Alfred Wegener Institute Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Potsdam 14473, Germany

摘要 孢粉是重建古植被、古气候的重要基础数据。孢粉数据库对研究样点至区域和全球尺度上的古环境演变规律、古气候变化特征反演和古生物地球化学循环模拟等具有重要意义。该文收集整理了中国1960–2020年间发表和部分未发表的现代花粉数据记录, 包括样品编号、采样位置、采样地经纬度和海拔高度、样品类型、数据来源、数据类型、周边植被信息、参考文献、花粉类群及其含量等信息; 并对数据进行筛选和标准化等处理, 由此整合为中国现代花粉数据集。该数据集由4 497个现代花粉采样点的数据信息组成, 包括660个来自中国第四纪孢粉数据库数据, 1 763个前期整理发表的数据和2 074个近期收集的数据, 涵盖772个花粉类群。样品类型以土壤表层样品(3 332个)为主, 苔藓样品以及湖泊、海洋表层样品等为辅, 广泛分布于全国不同地理区域和植被类型中, 其中以温带荒漠区域(24.91%)和亚热带常绿阔叶林区域(24.02%)最丰富, 其次为温带草原区域(16.14%)和青藏高原高寒植被区域(15.83%)。数据按照来源可分为原始数据(58%)和数值化数据(42%); 按照数据类型可分为原始统计粒数的样点(59%)和以花粉百分比表达的样点(41%)。半个多世纪以来, 科研人员开展了大量的表层现代花粉取样和研究。本数据集虽然仅获取部分记录, 但样点覆盖了我国绝大多数地区, 可有效地用于古植被与古气候重建的现代孢粉与现代植被校验, 并将为中国孢粉数据库的建立与更深入的孢粉研究提供数据支撑。

关键词 中国; 花粉数据库; 表层花粉; 现代植被

陈海燕, 徐德宇, 廖梦娜, 李凯, 倪健, 曹现勇, 程波, 郝秀东, 孔昭宸, 李升峰, 李小强, 刘光琇, 刘平妹, 刘兴起, 孙湘君, 唐领余, 魏海成, 许清海, 阎顺, 羊向东, 杨振京, 于革, 张芸, 张志勇, 赵克良, 郑卓, Herzsuh U (2021). 中国现代花粉数据集. 植物生态学报, 45, 799-808. DOI: 10.17521/cjpe.2021.0024

A modern pollen dataset of China

CHEN Hai-Yan¹, XU De-Yu¹, LIAO Meng-Na^{1,2}, LI Kai^{1,2}, NI Jian^{1,2*}, CAO Xian-Yong³, CHENG Bo⁴, HAO Xiu-Dong⁵, KONG Zhao-Chen⁶, LI Sheng-Feng⁷, LI Xiao-Qiang⁸, LIU Guang-Xiu⁹, LIU Ping-Mei¹⁰, LIU Xing-Qi¹¹, SUN Xiang-Jun¹², TANG Ling-Yu¹³, WEI Hai-Cheng¹⁴, XU Qing-Hai¹⁵, YAN Shun¹⁶, YANG Xiang-Dong¹⁷, YANG Zhen-Jing¹⁸, YU Ge¹⁷, ZHANG Yun⁶, ZHANG Zhi-Yong¹⁹, ZHAO Ke-Liang⁸, ZHENG Zhuo²⁰, and Ulrike HERZSCHUH²¹

¹College of Chemistry and Life Sciences, Zhejiang Normal University, Jinhua, Zhejiang 321004, China; ²Jinhua Mountain Observation and Research Station for Subtropical Forest Ecosystems, Jinhua, Zhejiang 321004, China; ³State Key Laboratory of Tibetan Plateau Earth System Science, Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; ⁴College of Urban and Environmental Sciences, Central China Normal University, Wuhan 430079, China; ⁵Key Laboratory of Environment Change and Resource Use in Beibu Gulf (Nanning Normal University), Ministry of Education, Nanning 530001, China; ⁶Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China; ⁷School of Geography and Ocean Science, Nanjing University, Nanjing 210023, China; ⁸Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100044, China; ⁹Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; ¹⁰Department of Geosciences, Taiwan University, Taipei 10617, China; ¹¹College of Resource Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100048, China; ¹²School of Ocean and Earth Science,

收稿日期Received: 2021-01-19 接受日期Accepted: 2021-03-26

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(XDA19050103, XDA2009000003 and XDB31030104)。Supported by the Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences (XDA19050103, XDA2009000003 and XDB31030104)。

* 通信作者Corresponding author (nijian@zjnu.edu.cn)

Tongji University, Shanghai 200092, China; ¹³Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; ¹⁴Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China; ¹⁵College of Resource and Environmental Sciences, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050027, China; ¹⁶Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Ürümqi 830011, China; ¹⁷Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; ¹⁸Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Shijiazhuang 050061, China; ¹⁹Lushan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Jiujiang, Jiangxi 332900, China; ²⁰School of Earth Sciences and Engineering, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China; and ²¹Alfred Wegener Institute Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Potsdam 14473, Germany

Abstract

Pollen record is an essential data for reconstructing paleovegetation and paleoclimate. It is important for the studies of paleoenvironmental evolution, characteristics of paleoclimate change and simulation of paleobio-geochemical cycles from site to regional and global scales. In this paper, we collected and sorted out the pollen data records from published and unpublished Chinese literature between 1960 to 2020. The records included sample numbers, sampling locations (latitude, longitude and altitude of sampling sites), sample types, data sources, data types, surrounding vegetation, references, and pollen taxa, their compositions as well. They were filtered and standardized to integrate a pollen dataset of China. This dataset consists of 4 497 modern pollen sampling sites, including 660 published data from the Chinese Quaternary Pollen Database, 1 763 from early published data and 2 074 from recently collected data, belonging to 772 pollen taxa. The samples were mainly from surface soils (3 332 sites), and the rest were from moss polders, surface sediments from lakes and the ocean. The sampling sites are widely scattered around China representing different geographical regions and vegetation types: 24.91% in the temperate desert region, 24.02% in the subtropical evergreen broad-leaved forest region, followed by the temperate grassland region (16.14%) and alpine vegetation region of Qingzang Plateau (15.83%). The data can be divided into the raw data (58%) and numerical data (42%) according to their sources, and grain count (59%) and calculated pollen percentage (41%) by data type as well. The database constructed from the samples over China during the past half-century+ period is, though by far from complete, good representation of most of the areas in China, which can be effective in the reconstruction of past vegetation and climates as modern verification.

Key words China; pollen database; surface pollen; modern vegetation

Chen HY, Xu DY, Liao MN, Li K, Ni J, Cao XY, Cheng B, Hao XD, Kong ZC, Li SF, Li XQ, Liu GX, Liu PM, Liu XQ, Sun XJ, Tang LY, Wei HC, Xu QH, Yan S, Yang XD, Yang ZJ, Yu G, Zhang Y, Zhang ZY, Zhao KL, Zheng Z, Herzschuh U (2021). A modern pollen dataset of China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 45, 799-808. DOI: 10.17521/cjpe.2021.0024

种子植物的花粉和蕨类植物等的孢子(简称“孢粉”)是孢粉学的主要研究对象, 现代表层和过去地层中的孢粉记录是重建地质与历史时期古植被与古气候特征, 及其与自然驱动和人类干扰关系的重要数据支撑。孢粉分析是第四纪环境研究中的主要方法(Prentice *et al.*, 1996; 陈瑜和倪健, 2008; 倪健等, 2010)。从样点、局域等小尺度到区域、洲际和全球等大尺度古环境研究中, 孢粉数据库发挥着至关重要的基石作用。因此, 建立完善可靠的全球、大陆和区域尺度的孢粉数据库是古生态学研究的关键。

从20世纪70年代开始, 区域至大陆尺度的孢粉数据分析逐渐兴起(Bernabo & Webb III, 1977; Huntley, 1990)。随之而来, 洲际和全球孢粉数据库也逐渐建立起来。截至目前, 在全球和洲际尺度上已经建立了全球孢粉数据库(Global Pollen Database, GPD, <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/pollen.html>)、欧洲孢粉数据库(European Pollen Database, EPD,

<http://www.europeanpollendatabase.net>)、北美孢粉数据库(North American Pollen Database, NAPD, <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/napd.html>)、非洲孢粉数据库(African Pollen Database, APD, <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/apd.html>)等, 其中以欧洲孢粉数据库最具代表性, 其数据量大、质量高、更新频繁。目前, 这些孢粉数据库正逐渐纳入全球古生态学数据库中(Neotoma Paleoecology Database, <http://www.neotomadb.org>)。全球、洲际和区域孢粉数据库可广泛应用于探讨花粉类群的散布和迁移规律以寻找潜在避难所(Brewer *et al.*, 2002; Magri, 2008), 重建过去古生物群区的变化(Yu *et al.*, 1998; Ni *et al.*, 2014; Tian *et al.*, 2016), 重建古植被和古气候以反映植被的覆盖变化和气候的时空变化等(Ren, 2007; Trondman *et al.*, 2015), 为不同时空尺度上的古环境演变研究奠定数据基础。

中国的孢粉数据库建设起步相对较晚。在1994

年中国加入国际BIOME6000全球古植被制图计划时(Prentice *et al.*, 1996, 2000; Prentice & Webb III, 1998), 孙湘君等孢粉学工作者着手建立了我国第一个的孢粉数据库——中国第四纪孢粉数据库(Chinese Quaternary Pollen Database, CQPD), 但主要以0 k、6 k和18 k 3个时间段的孢粉记录收集为主, 并未建成真正的数据库, 只是小规模的数据收集(孙湘君等, 1999; 于革, 1999), 约包含650个现代花粉点和120个地层孢粉点; 利用这些数据重建了我国全新世中期和末次冰盛期的古植被格局(Yu *et al.*, 1998, 2000; 倪健, 2000, 2013; 陈瑜和倪健, 2008)。进入21世纪以来, 中国孢粉数据库的建设基本停滞, 但部分孢粉学工作者为了区域研究的需要, 自行收集建立了各自的孢粉数据集, 如倪健课题组收集整理了全国2 434个现代花粉点和228个地层孢粉点(Chen *et al.*, 2010; Ni *et al.*, 2010, 2014; Cao *et al.*, 2013), 由此重建了中国(Ni *et al.*, 2010, 2014)乃至扩展至东亚北亚地区的古植被格局和古气候特征(Cao *et al.*, 2015, 2017; Tian *et al.*, 2016, 2018)。郑卓课题组也收集了东亚地区的现代孢粉记录, 来自中国的数据量占2/3 (Zheng *et al.*, 2014), 由此分析了区域现代花粉分布与气候和植被的关系。中国古生物学会孢粉学分会分别于2007和2015年启动了中国孢粉数据库(Chinese Pollen Database, CPD)更新建设, 并制订了相应的数据收集与共享政策, 但进展缓慢。

在2018年启动的中国科学院战略性先导科技专项2个A类项目“地球大数据科学工程”和“泛第三极环境变化与绿色丝绸之路建设”, 以及1个B类项目“大尺度区域生物多样性格局与生命策略”的支持下, 我们重新开始中国孢粉数据库的建设及其应用工作, 基于现有的中国孢粉数据库记录, 补充采集和收集样品点分布不均及空白区域的现代表土花粉与地层孢粉记录(宋长青和孙湘君, 1999; 倪健等, 2010), 以及相应的文献著作, 时间跨度从第四纪末期为主拓展到整个新生代, 以逐步建立标准统一、高孢粉质量、高定年质量的中国孢粉数据库。

本文中国现代花粉数据集是对中国孢粉数据库中现代花粉记录的一次更新与扩充。本数据集的建立将为大尺度孢粉与植被和气候关系的研究, 以及古植被和古气候的重建提供重要基础数据, 也为更好地理解 and 解释区域和全球古植被与古气候的时空格局变化及其驱动力奠定基础。

1 材料和方法

现代花粉数据的主要获取途径有两种: 一是自行野外采样并进行花粉鉴定和分析, 二是通过发表/未发表文献收集数据, 包括花粉图谱的数值化和文献作者贡献的原始记录。前者耗费极大的人力和物力, 在短时间内无法获取大批量数据, 故本文的数据获取主要依靠第二条途径, 即通过大量收集花粉研究的中英文文献, 获取前人花粉取样的记录; 由此联系作者索取原始记录, 或者数值化花粉图谱。现代花粉数据收集好后, 需进行一系列的筛选与校正工作, 如检查删除重复项及低质量样品, 校正地理坐标等; 再整合花粉数据并使其统一化, 包括花粉含量标准化、花粉类群名称标准化以及数据格式标准化等, 最终建立可供便利使用的现代花粉数据集(Microsoft Excel文件)。

1.1 数据采集方法

以“孢粉”“古植被”“古植物”“古气候”“古环境”以及主要孢粉工作者的姓名等作为关键词, 检索中国知网、维普网、万方数据知识服务平台以及Web of Science等国内外重要数据库, 收集中国1960–2020年间正式刊载的所有与孢粉研究相关的文献、专著等。从中提取花粉取样和处理的相关信息, 包括: 采样地点名称、详细采样位置、省份、采样点经纬度和海拔高度、样品类型、取样深度、花粉样品数量、周边植被信息和参考文献等。

在这些文献信息的基础上, 首先联系作者索取原始花粉记录, 未能获得原始记录时, 则根据文献中的花粉图谱, 手工或利用软件进行花粉含量的数值化。因此, 本现代花粉数据集既包含原始花粉数据, 也包含数值化的花粉数据。需要说明的是, 本数据集的数据采集从1997年开始, 包含了第一版中国第四纪孢粉数据库中的部分记录(Yu *et al.*, 1998, 2000), 也包括本课题组前期收集发表的所有数据(Chen *et al.*, 2010; Ni *et al.*, 2010, 2014; Cao *et al.*, 2013)。另外需要注意的是, 本数据集与东亚现代花粉数据库(Zheng *et al.*, 2014)有一定的交叉。

1.2 数据处理方法

1.2.1 删除重复及低质量样点

有3种情况的重复样点记录: 第一, 来自不同数据源的重复记录; 第二, 基于同一个采样点数据发表多篇文章, 分区域发表或者分不同主题发表; 第三, 前期索取数据未果, 对花粉图谱进行了数值化,

但后期又获得了原始记录。对于重复的样点记录,如果有原始记录,则保留有原始数据的样点;如果是数值化记录,则保留区域最全、与植被主题最相关,且花粉类群最多的样点。对于数据质量低的样点,如花粉含量极低、类群很少、数据不完整、花粉百分比总和小于90%或大于110%,则删除。

1.2.2 校正地理坐标

早期的野外采样没有GPS定位,只有地名,则按照《中华人民共和国地名录》(中国地名委员会,1994)确定经纬度坐标,缺海拔高度记录者则按照Google Earth进行定位确定。早期GPS定位不准,或者定位有误者,则从STRM 90 m分辨率数字高程模型(DEM, <http://srtm.csi.cgiar.org/>)提取各样点相应的高程值;对二者相差较大的采样点,尤其是来自我国西部地形起伏较大地区(如青藏高原和昆仑山、天山等西部高山)的样点,则结合Google Earth地形信

息,以DEM为依据确定一个合理值。地理坐标的校正过程优先参考样点地名,其次考虑原始记录的海拔高度(郑卓等,2013)。

1.2.3 花粉类群名称标准化

花粉类群的拉丁学名拼写存在一些错误,部分科属在新旧分类系统中的拉丁名不一致,这均需检查校正和统一。对少数录入错误的拉丁名进行拼写修正。根据最新的被子植物种系发生学(APG IV)分类系统(The Angiosperm Phylogeny Group, 2016),以及来自中国植物物种信息系统“植物智”(<http://www.iplant.cn/>)的中国植物志网络版,对同时采用新旧分类系统的花粉类群进行拉丁名统一化。部分花粉类群的目和亚科等都归并到科(表1)。对于组合花粉类群排列不一致的情况,如*Abies* + *Picea*和*Picea* + *Abies*,采用唯一排列作为一种花粉组合。

表1 花粉类群修订
Table 1 A revision of some pollen taxa

花粉科属 Pollen taxa	原始拉丁名 Original Latin name	统一后拉丁名 Unified Latin name
相思树属 <i>Acacia</i>	<i>Minosa</i>	<i>Acacia</i>
伞形科 <i>Apiaceae</i>	<i>Umbelliferae</i>	<i>Apiaceae</i>
棕榈科 <i>Arecaceae</i>	<i>Palmae</i>	<i>Arecaceae</i>
菊科 <i>Asteraceae</i>	<i>Compositae</i>	<i>Asteraceae</i>
菊亚科 <i>Asteraceae</i> subfamily	<i>Asteroideae</i>	<i>Asteraceae</i>
舌状花亚科 <i>Cichorioideae</i>	<i>Liguliflorae</i>	<i>Asteraceae</i>
十字花科 <i>Brassicaceae</i>	<i>Cruciferae</i>	<i>Brassicaceae</i>
藜科 <i>Chenopodiaceae</i>	<i>Chenopodiaceae</i>	<i>Amaranthaceae</i>
白花菜科 <i>Cleomaceae</i>	<i>Cleomaceae</i>	<i>Capparaceae</i>
柳兰属 <i>Chamerion</i>	<i>Chamaenerion</i>	<i>Chamerion</i>
藤黄科 <i>Clusiaceae</i>	<i>Guttiferae</i>	<i>Clusiaceae</i>
杜鹃花目 <i>Ericales</i>	<i>Ericales</i>	<i>Ericaceae</i>
掌脉石楠科 <i>Epacridaceae</i>	<i>Epacridaceae</i>	<i>Eridaceae</i>
豆科 <i>Fabaceae</i>	<i>Leguminosae</i>	<i>Fabaceae</i>
苏木科 <i>Caesalpiniaceae</i>	<i>Caesalpiniaceae</i>	<i>Fabaceae</i>
含羞草亚科 <i>Mimosoideae</i>	<i>Mimosaceae</i>	<i>Fabaceae</i>
含羞草亚科 <i>Mimosoideae</i>	<i>Mimosoideae</i>	<i>Fabaceae</i>
蝶形花亚科 <i>Papilionoideae</i>	<i>Papilionaceae</i>	<i>Fabaceae</i>
小二仙草科 <i>Haloragaceae</i>	<i>Haloragaceae</i>	<i>Haloragidaceae</i>
叉序草属 <i>Isoglossa</i>	<i>Chingiacanthus</i>	<i>Isoglossa</i>
驼绒藜属 <i>Krascheninnikovia</i>	<i>Ceratoides</i>	<i>Krascheninnikovia</i>
唇形科 <i>Lamiaceae</i>	<i>Labiatae</i>	<i>Lamiaceae</i>
禾本科 <i>Poaceae</i>	<i>Gramineae</i>	<i>Poaceae</i>
谷物 <i>Grain</i>	<i>Cerealia</i>	<i>Poaceae_Cereal</i>
红砂属 <i>Hololachna</i>	<i>Hololachna</i>	<i>Reaumuria</i>
红树属 <i>Rhizophora</i>	<i>Mangrove</i>	<i>Rhizophora</i>
爵床属 <i>Justicia</i>	<i>Justicia</i>	<i>Rostellularia</i>
美洲柏属 <i>Sapium</i>	<i>Triadica</i>	<i>Sapium</i>
三百草 <i>Saururus chinensis</i>	<i>Herba</i>	<i>Saururus</i>
獐芽菜属多枝组 <i>Sect. Ophelia</i>	<i>Ophelia</i>	<i>Swertia</i>

1.2.4 花粉含量标准化

无论是以孢粉百分比或以孢粉粒数记录的孢粉数据, 均根据陆生植物花粉总数重新计算花粉百分比, 其原则为去除对区域植被指示意义不大的水生植物花粉以及蕨类和藻类植物孢子, 但包含可为水生植物的莎草科植物花粉(Cao *et al.*, 2013), 主要原因是莎草科中很多草本植物是高寒草甸植被的指示种。通过此项处理, 本数据集仅包含现代花粉记录, 无孢子数据, 因此称为中国现代花粉数据集。

1.2.5 花粉数据格式标准化

为确保数据的准确、统一, 对数据内容进行全面检查, 包括核验每个采样点的经纬度、海拔、样品数量、参考文献等信息。对于异常数据, 需仔细核对原始数据和文献。对于数据格式差异, 需对其进行统一, 如经纬度坐标有的以度为单位, 有的以度分或度分秒为单位。本数据集统一数据格式: 经纬度以度(°)为单位, 并保留到小数点后3位; 海拔高度以米(m)为单位, 仅保留整数; 花粉含量以百分比(%)表达, 保留到小数点后2位。

1.2.6 采样点现代植被信息处理

采样点及其周边的现代植被信息有两个来源: 一是采样人在野外调查时的记录(原始野外记录或者文献信息摘录), 二是提取自《中国植被图集(1: 1 000 000)》(中国科学院中国植被图编辑委员会, 2001)。由于有的野外调查记录的现代植被信息较为零碎, 植被类型描述也存在较多不当之处, 同时, 中国植被图的信息较为陈旧, 也存在很多与当前植被不匹配之处, 因此, 我们最大化描述现代植被, 凡是采样点有野外调查记录的, 一律保留这些信息; 并从中国植被图提取所有采样点的现代植被信息。在此基础上, 根据上述两类信息和经验判断某个采样点的最可能的植被类型, 供数据使用者参考。

2 结果

本数据集包含中国现代花粉信息表(附录I)和数据表(附录II), 其中: 中国现代花粉数据集的信息表包括编号、采样地名、经纬度、海拔高度、样品类型、数据来源、数据类型、周边植被信息和参考文献。中国现代花粉数据集的数据表展示了现代花粉样点的花粉谱数据矩阵表, 包含编号、采样地名、经纬度、海拔高度、花粉类群拉丁名、中文名和所

属科属以及每个样点对应的所有花粉类群的含量。

2.1 样点统计

本数据集整合了全国已发表的原始现代花粉数据和文献中花粉图谱的数值化数据, 以及少部分未发表数据, 共4 497个样点(图1A)。其中: 660个样点来自已有的中国第四纪孢粉数据库(Yu *et al.*, 1998, 2000), 1 763个样点来自前期收集(Chen *et al.*, 2010; Ni *et al.*, 2010, 2014; Cao *et al.*, 2013), 其中包括来自东亚花粉数据库的437个数据(Zheng *et al.*, 2014), 还有来自近期收集整理的已发表和未发表的2 074个数据。数据集按照数据来源可分为原始数据和数值化数据, 其中原始数据占58%, 共计2 621个样点; 数值化数据1 876个样点, 占42% (图1B)。按照数据类型来划分, 可包括原始统计粒数的样点2 643个, 占59%; 以花粉百分比表达的样点1 854个, 占41% (图1C)。现代花粉样品的类型多样, 多数样点的样品为土壤表层(3 332个)、苔藓(411个)以及苔藓与土壤表层的混合样品(101个), 占85.5%, 其他为钻孔样品的顶端(125个)、剖面样品的顶端(51个)、表层湖泊沉积物(330个)、表层海洋沉积物(19个)、河流冲积物表层(25个)、扬尘样(80个)和冰雪表层(23个)(图1D)。从取样点的海拔分布来看, 63.8%的样点分布在我国500–3 500 m的低海拔至高海拔地区, 19.4%的样点分布于>3 500 m的青藏高原等高海拔地区, 其余16.8%的样点分布在<500 m的低海拔地区(图2A)。绝大多数现代花粉(97.95%)都为1980–2020年间发表的(图2B)。

从植被类型的代表性(图1A)来看, 我国温带荒漠区域(24.91%)和亚热带常绿阔叶林区域(24.02%)样点数量最丰富; 温带草原区域(16.14%)和青藏高原高寒植被区域(15.83%)样点数量次之; 其余植被类型共占19.10%, 分别为暖温带落叶阔叶林区域(8.54%)、热带季雨林-雨林区域(7.49%)、寒温带针叶林区域(1.69%)和温带针叶-落叶阔叶混交林区域(1.38%)。从采样点空间地理分布(图1D)来看, 以内蒙古高原北部、华北平原北部、青藏高原东部、黄土高原西部以及西南地区较为集中; 新疆北部山地、东北大小兴安岭以及华南丘陵地区也有较多采样数据; 采样空白地区多出现在我国东部和中部人类活动频繁地区、东北地区 and 西北干旱荒漠地区以及青藏高原中北部等无人区。

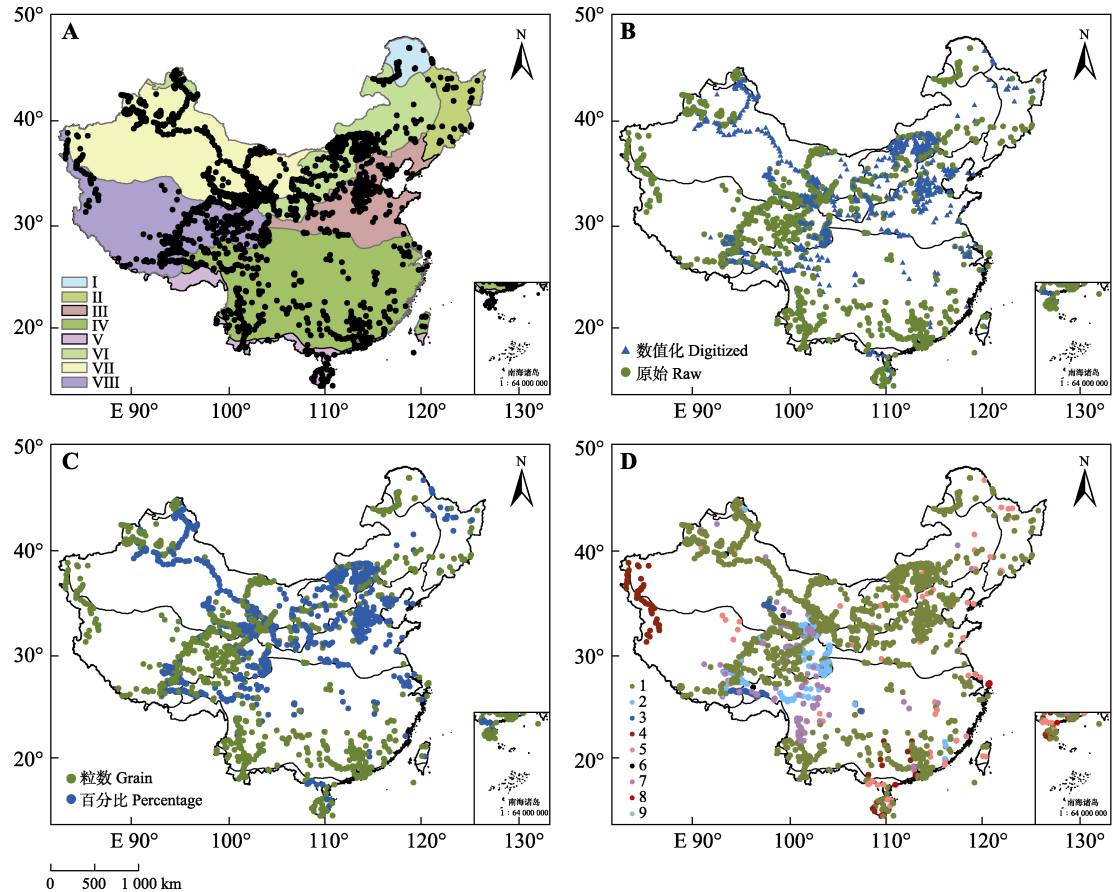


图1 中国现代花粉数据集样点概况。**A**, 样点分布图。I, 寒温带针叶林区域; II, 温带针阔叶混交林区域; III, 暖温带落叶阔叶林区域; IV, 亚热带常绿阔叶林区域; V, 热带季风雨林、雨林区域; VI, 温带草原区域; VII, 温带荒漠区域; VIII, 青藏高原高寒植被区域。**B**, 数据来源图。**C**, 数据类型图。**D**, 样品类型图。1, 土壤表层; 2, 苔藓; 3, 苔藓/土壤表层; 4, 扬尘; 5, 钻孔/剖面顶层; 6, 冰川表层; 7, 湖泊沉积物表层; 8, 海洋沉积物表层; 9, 湖相沉积物与河流冲积物表层。

Fig. 1 Sampling sites of the modern pollen dataset of China. **A**, Sample sites distribution. I, cold-temperate coniferous forests; II, temperate mixed coniferous and deciduous forests; III, warm-temperate deciduous forests; IV, subtropical evergreen broad-leaved forests; V, tropical monsoon rainforests and rainforests; VI, temperate grasslands; VII, temperate deserts; VIII, alpine vegetation on the Qingzang Plateau. **B**, Data sources. **C**, Data type. **D**, Sample type. 1, soil surface; 2, moss polster; 3, moss/soil surface; 4, dust flux; 5, core/profile top; 6, ice/glacier surface; 7, lake sediment surface; 8, marine sediment surface; 9, lacustrine and alluvial/fluvial surface.

2.2 现代花粉空间分布特征

目前的花粉数据包含772个花粉类群, 其中统计量最多的种类为: 蒿属(*Artemisia*)、苋科(*Amaranthaceae*)、松属(*Pinus*)、莎草科(*Cyperaceae*)、禾本科(*Poaceae*)、桦木属(*Betula*)、云杉属(*Picea*)、菊科(*Asteraceae*)、豆科(*Fabaceae*)、蔷薇科(*Rosaceae*)、麻黄属(*Ephedra*)、十字花科(*Brassicaceae*)、毛茛科(*Ranunculaceae*)、蓼属(*Polygonum*)、锥属(*Castanopsis*)、栎属(*Quercus*)等(图3)。此外, 出现频率较高的其他种类有冷杉属(*Abies*)、桤木属(*Alnus*)、柳杉属(*Cryptomeria*)、白刺属(*Nitraria*)、唐松草属(*Thalictrum*)、柳属(*Salix*)、石竹科(*Caryophyllaceae*)、柏科(*Cupressaceae*)、伞形科(*Apiaceae*)、唇形科

(*Lamiaceae*)、紫菀属(*Aster*)、榛属(*Corylus*)、鹅耳枥属(*Carpinus*)、榆树属(*Ulmus*)、胡桃属(*Juglans*)、杜鹃花属(*Rhododendron*)等。

以松属(*Pinus*)、蒿属(*Artemisia*)、落叶栎(deciduous *Quercus*)、常绿栎(evergreen *Quercus*)为例描述主要花粉种类群的空间分布特征(图4)。松属是表土花粉中最常见的一个类群, 广泛分布于我国各个地区, 从其花粉分布(图4A)来看, 松属花粉主要集中在我国东部热带、亚热带、温带和寒温带等较为湿润地区, 花粉含量多在30%–50%; 西北以及西南等干旱地区大多在10%以下; 由图中也可看出, 大部分采样点均鉴定出松属花粉的存在, 这可能是由于松属花粉独特的双气囊结构增强了其远距离传

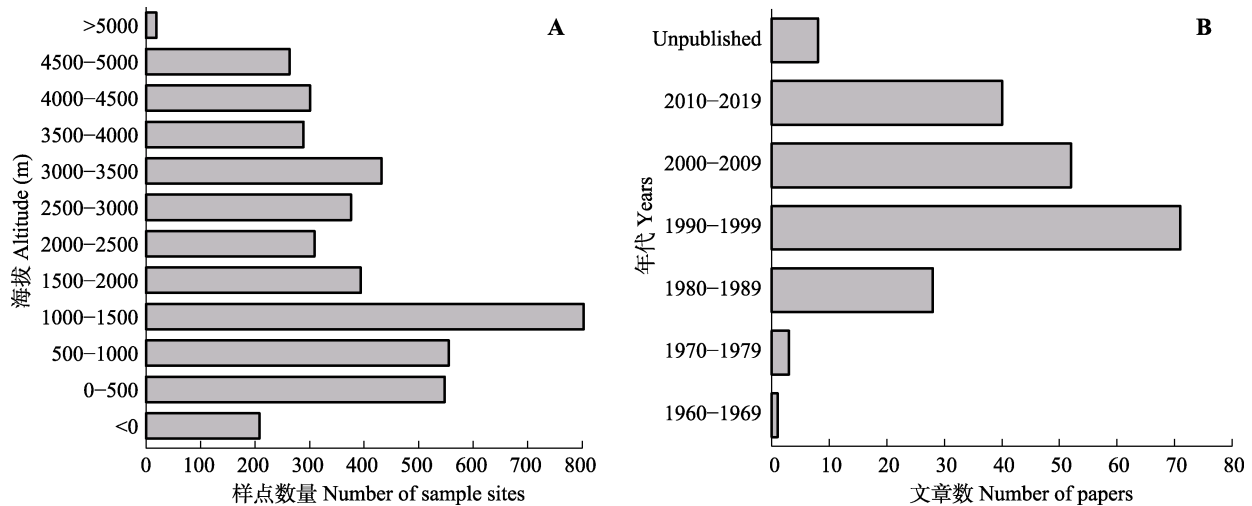


图2 中国现代花粉样点海拔高度(A)和文献发表年代(B)。
Fig. 2 Altitude (A) and publication years (B) of modern pollen sites in China.

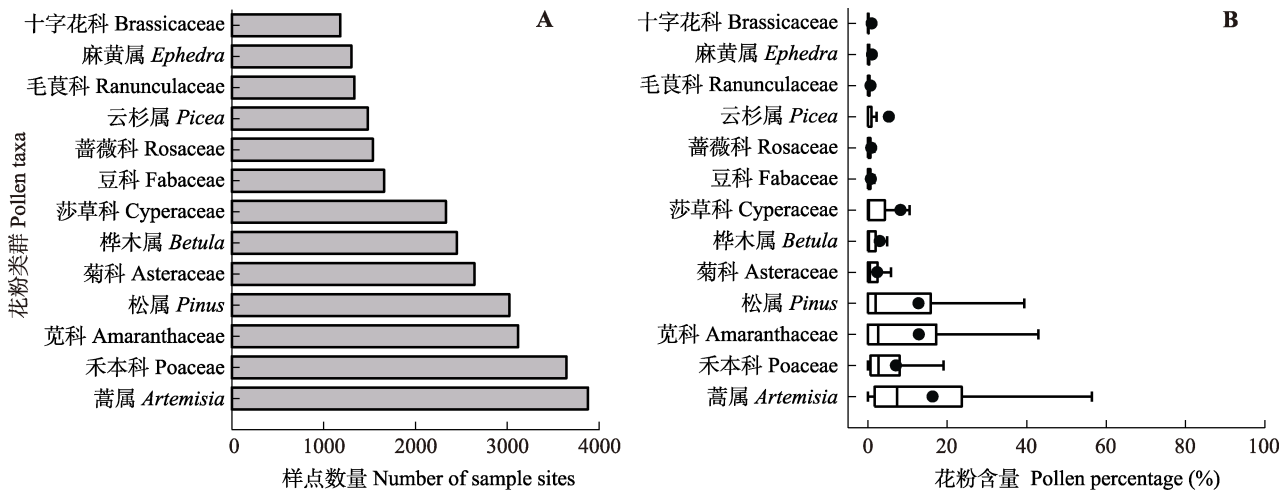


图3 中国常见花粉类群样点数量(A)和花粉含量(B)。
Fig. 3 Number of sample sites (A) and pollen percentage (B) of common pollen taxa in China.

播的能力。蒿属植物是我国分布最为广泛的一个草本类群,在我国各种生态环境中均有分布,由蒿属花粉分布图(图4B)可以看出,其主要集中在我国北方温带草原、西北高山和西南高寒草原等区域,花粉含量大多在50%以上;在我国热带、亚热带等温暖湿润地区则多在10%以下。落叶栎植被主要分布于我国东部冷温带、温带和亚热带地区,由花粉分布图(图4C)来看,落叶栎花粉集中分布在我国亚热带和热带地区,花粉含量一般在10%–30%;另外东北地区也有少量落叶栎花粉分布,花粉含量在5%–20%。常绿栎植被主要分布在我国华南及东南沿海地区,是我国南方地区森林生态系统的重要组成树种,由花粉分布图(图4D)来看,常绿栎集中分布于我国华南及西南等温暖潮湿的热带和亚热带地

区,多数样点花粉含量在30%以上;在我国秦岭-淮河以北的寒冷地区几乎无常绿栎花粉分布。通过以上分析发现,在有花粉采样点的区域,植被的花粉分布和其地理分布大致相同,花粉含量分布图基本概括了所属树种的分布情况。

3 讨论

3.1 数据质量控制和评估

本数据集整合了半个世纪以来中国孢粉工作者积累的现代花粉数据。由于数据来源广泛,研究目的多样,不同研究者对花粉科属的鉴定差异以及早期野外定位不精确等,导致原始数据的质量参差不齐。为了保证数据质量,我们对文献收集、数据提取等过程都进行了严格的质量控制,包括文献数据

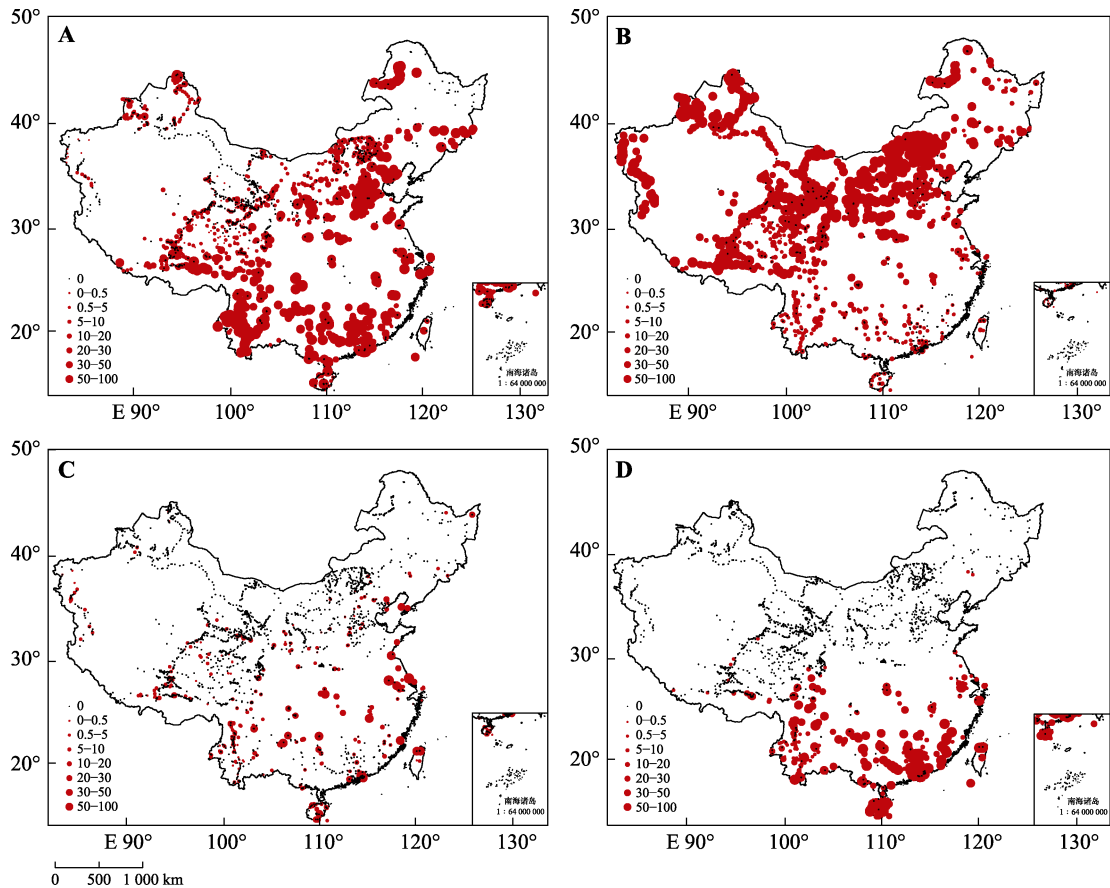


图4 代表性花粉类群的空间分布特征。A, 松属。B, 蒿属。C, 落叶栎。D, 常绿栎。

Fig. 4 Spatial distribution of some representative pollen taxa. A, *Pinus*. B, *Artemisia*. C, Deciduous *Quercus*. D, Evergreen *Quercus*.

库选择, 检索关键词确定, 文献筛选标准制定, 数据信息提取和整理以及最终数据标准化。此外, 数据处理过程中对重复项及低质量样品的检查与删除, 对地理坐标的检查与校正, 对花粉类群拉丁名勘误等, 也在很大程度上提高了数据的质量。目前本数据集收集的现代花粉采样点涵括了全国不同地理区域和植被类型, 花粉数据质量控制较好, 可有效地用于古植被重建的现代花粉与现代植被校验。

尽管如此, 本数据集仍存在一定的缺陷。首先, 数据集并未完全涵盖已经采集的全国现代花粉数据。中国孢粉学工作者从20世纪60年代开展孢粉学研究以来, 尤其是最近20年来陆续获得了全国各地的大批量现代花粉(以及地层孢粉)记录, 但由于数据共享问题, 本数据集整理的仅是其中的一部分, 估测仅占全国所有现代花粉记录的一半左右; 很大一部分原始记录未能获取, 而部分已发表文献中的孢粉图谱数据非常密集, 无法开展数值化。其次, 从地理分布格局来看, 东北地区、青藏高原中部和西部、华中和华南及华东人类活动频繁地区, 仍缺少

采样点, 这与早前研究(倪健等, 2010)发现的问题一致。一个原因是这些地区的数据未能收集到, 比如, 本课题组已经采集了青藏高原中部和东部地区的现代花粉样品, 但尚未鉴定完成; 来自东亚孢粉数据库(Zheng *et al.*, 2014)的记录也未包括在本数据集中。另外一个原因是一些地区确实缺少采样点, 尤其是在长江和珠江流域, 人类干扰严重, 原始植被难寻, 造成现代花粉采样量和覆盖度均很欠缺。再次, 部分区域样品采集重复较大, 尤其是内蒙古地区和青藏高原东部; 而且, 有些地区的重复取样点均沿公路周边, 造成数据相似度较高, 不利于花粉数据的进一步延伸利用。

3.2 数据价值

定量重建过去的植被与气候等古环境演变特征, 建立古植被与古气候变化的关系, 以及揭示人类活动的影响, 阐述古环境演变的驱动机制, 均需利用现代花粉资料来正确理解现代花粉过程(许清海等, 2015), 而这些研究在很大程度上取决于花粉资料的准确性以及花粉样点的数量(杨振京和徐建明,

2002)。本数据集主要通过补充采集或收集全国范围内已发表的代表土花粉记录, 对原有的中国表土花粉数据做了大量的更新和完善, 以期建立分布更均匀、样点更多, 且标准统一、高质量的中国现代花粉数据库。

中国现代花粉数据集可定量应用于宏观尺度的古生物群区类型与格局重建, 景观尺度的古植被覆盖和古土地利用重建, 以及根据古植被变化的信息反演过去的气候变化特征等第四纪研究领域。下一步的研究将聚焦于数据集的再补充与完善, 并深入理解区域尺度现代花粉与植被和气候的关系, 以及现代花粉过程及其生态指示意义等。

致谢 本数据集是过去20年中国孢粉数据收集与整理的一部分, 得到国内外诸多孢粉学工作者以及研究生的大力支持, 在此一并致谢。感谢中国科学院地球化学研究所杨华妹帮助收集文献及数值化孢粉图谱。

参考文献

- Bernabo JC, Webb III T (1977). Changing patterns in the Holocene pollen record of northeastern North America: a mapped summary. *Quaternary Research*, 8, 64-96.
- Brewer S, Cheddadi R, de Beaulieu JL, Reille M (2002). The spread of deciduous *Quercus* throughout Europe since the last glacial period. *Forest Ecology and Management*, 156, 27-48.
- Cao XY, Herzschuh U, Ni J, Zhao Y, Böhmer T (2015). Spatial and temporal distributions of major tree taxa in eastern continental Asia during the last 22,000 years. *The Holocene*, 25, 79-91.
- Cao XY, Ni J, Herzschuh U, Wang YB, Zhao Y (2013). A late Quaternary pollen dataset from eastern continental Asia for vegetation and climate reconstructions: set up and evaluation. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 194, 21-37.
- Cao XY, Tian F, Telford RJ, Ni J, Xu QH, Chen FH, Liu XQ, Stebich M, Zhao Y, Herzschuh U (2017). Impacts of the spatial extent of pollen-climate calibration-set on the absolute values, range and trends of reconstructed Holocene precipitation. *Quaternary Science Reviews*, 178, 37-53.
- Chen Y, Ni J (2008). Quantitative palaeovegetation reconstruction at large scale based on pollen records. *Journal of Plant Ecology (Chinese Version)*, 32, 1201-1212. [陈瑜, 倪健 (2008). 利用孢粉记录定量重建大尺度古植被格局. 植物生态学报, 32, 1201-1212.]
- Chen Y, Ni J, Herzschuh U (2010). Quantifying modern biomes based on surface pollen data in China. *Global and Planetary Change*, 74, 114-131.
- China Committee on Geographical Names (1994). *Gazetteer of the People's Republic of China*. China Social Press, Beijing. [中国地名委员会 (1994). 中华人民共和国地名录. 中国社会科学出版社, 北京.]
- China Editorial Board of Vegetation Map, Chinese Academy of Sciences (2001). *Vegetation Atlas of China (1:1 000 000)*. Science Press, Beijing [中国科学院中国植被图编辑委员会 (2001). 中国植被图集(1:1 000 000). 科学出版社, 北京.]
- Huntley B (1990). European vegetation history: palaeovegetation maps from pollen data—13 000 yr BP to present. *Journal of Quaternary Science*, 5, 103-122.
- Magri D (2008). Patterns of post-glacial spread and the extent of glacial refugia of European beech (*Fagus sylvatica*). *Journal of Biogeography*, 35, 450-463.
- Ni J (2000). BIOME 6000 Project: latest advances of reconstructing palaeobiome. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 11, 465-471. [倪健 (2000). BIOME6000计划: 重建古生物群区的最新进展. 应用生态学报, 11, 465-471.]
- Ni J (2013). Biomisation and quantitative palaeovegetation reconstruction. *Quaternary Sciences*, 33, 1091-1100. [倪健 (2013). 孢粉生物群区化与古植被定量重建. 第四纪研究, 33, 1091-1100.]
- Ni J, Cao XY, Jeltsch F, Herzschuh U (2014). Biome distribution over the last 22,000 yr in China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 409, 33-47.
- Ni J, Chen Y, Herzschuh U, Dong D (2010). Late Quaternary pollen records in China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 34, 1000-1005. [倪健, 陈瑜, Herzschuh U, 董丹 (2010). 中国第四纪晚期孢粉记录整理. 植物生态学报, 34, 1000-1005.]
- Ni J, Yu G, Harrison SP, Prentice IC (2010). Palaeovegetation in China during the late Quaternary: biome reconstructions based on a global scheme of plant functional types. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 289, 44-61.
- Prentice IC, Guiot J, Huntley B, Jolly D, Cheddadi R (1996). Reconstructing biomes from palaeoecological data: a general method and its application to European pollen data at 0 and 6 ka. *Climate Dynamics*, 12, 185-194.
- Prentice IC, Jolly D, BIOME 6000 participants (2000). Mid-Holocene and glacial-maximum vegetation geography of the northern continents and Africa. *Journal of Biogeography*, 27, 507-519.
- Prentice IC, Webb III T (1998). BIOME 6000: reconstructing global mid-Holocene vegetation patterns from palaeoecological records. *Journal of Biogeography*, 25, 997-1005.
- Ren GY (2007). Changes in forest cover in China during the Holocene. *Vegetation History and Archaeobotany*, 16, 119-126.
- Song CQ, Sun XJ (1999). Advances in studies of Quaternary

- palynology in China. *Advance in Earth Sciences*, 14, 401-406. [宋长青, 孙湘君 (1999). 中国第四纪孢粉学研究进展. 地球科学进展, 14, 401-406.]
- Sun XJ, Song CQ, Chen XD (1999). "China Quaternary Pollen Database" (CPD) and "BIOME 6000" project. *Advance in Earth Sciences*, 14, 407-411. [孙湘君, 宋长青, 陈旭东 (1999). 中国第四纪孢粉数据库(CPD)和生物群区(BIOME 6000). 地球科学进展, 14, 407-411.]
- The Angiosperm Phylogeny Group (2016). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 181, 1-20.
- Tian F, Cao XY, Dallmeyer A, Lohmann G, Zhang X, Ni J, Andreev A, Anderson PM, Lozhkin AV, Bezrukova E, Rudaya N, Xu QH, Herzsuh U (2018). Biome changes and their inferred climatic drivers in northern and eastern continental Asia at selected times since 40 cal ka BP. *Vegetation History and Archaeobotany*, 27, 365-379.
- Tian F, Cao XY, Dallmeyer A, Ni J, Zhao Y, Wang YB, Herzsuh U (2016). Quantitative woody cover reconstructions from eastern continental Asia of the last 22 kyr reveal strong regional peculiarities. *Quaternary Science Reviews*, 137, 33-44.
- Trondman AK, Gaillard MJ, Mazier F, Sugita S, Fyfe R, Nielsen AB, Twiddle C, Barratt P, Birks HJB, Bjune AE, Björkman L, Broström A, Caseldine C, David R, Dodson J, *et al.* (2015). Pollen-based quantitative reconstructions of Holocene regional vegetation cover (plant-functional types and land-cover types) in Europe suitable for climate modelling. *Global Change Biology*, 21, 676-697.
- Xu QH, Li MY, Zhang SR, Zhang YH, Zhang PP, Lu JY (2015). Modern pollen processes of China: progress and problems. *Scientia Sinica (Terrae)*, 45, 1661-1682. [许清海, 李曼玥, 张生瑞, 张娅红, 张攀攀, 卢静瑶 (2015). 中国第四纪花粉现代过程: 进展与问题. 中国科学: 地球科学, 45, 1661-1682.]
- Yang ZJ, Xu JM (2002). Advances in studies on relationship among pollen, vegetation and climate. *Acta Phytocologica Sinica*, 26, 73-81. [杨振京, 徐建明 (2002). 孢粉-植被-气候关系研究进展. 植物生态学报, 26, 73-81.]
- Yu G (1999). Studies on biomization and the global palaeovegetation project. *Advance in Earth Sciences*, 14, 306-311. [于革 (1999). 花粉植被化与全球古植被计划研究. 地球科学进展, 14, 306-311.]
- Yu G, Chen XD, Ni J, Cheddadi R, Guiot J, Han HY, Harrison SP, Huang CX, Ke MH, Kong ZY, Li SF, Li WY, Liew PM, Liu GX, Liu JL, *et al.* (2000). Palaeovegetation of China: a pollen data-based synthesis for the mid-Holocene and last glacial maximum. *Journal of Biogeography*, 27, 635-664.
- Yu G, Prentice IC, Harrison SP, Sun XJ (1998). Pollen-based biome reconstructions for China at 0 and 6000 years. *Journal of Biogeography*, 25, 1055-1069.
- Zheng Z, Huang KY, Wei JH, Yue YF, Wan QC, Xu QH, Lü HY, Luo YL, Luo CX, Zheng YW, Li CH, Yang SX, Li J, Pan AD, Deng Y, Wei HC, Beaudouin C, Tarasov P, Nakagawa T, Cheddadi R (2013). Modern pollen data in China and adjacent areas: spatial distribution features and applications on quantitative paleoenvironment reconstruction. *Quaternary Sciences*, 33, 1037-1053. [郑卓, 黄康有, 魏金辉, 乐远福, 万秋池, 许清海, 吕厚远, 罗运利, 罗传秀, 郑艳伟, 李春海, 杨士雄, 李杰, 潘安定, 邓韞, 魏海成, Beaudouin C, Tarasov P, Nakagawa T, Cheddadi R (2013). 中国及其邻区现代孢粉数据: 空间分布特征和定量古环境重建中的应用. 第四纪研究, 33, 1037-1053.]
- Zheng Z, Wei JH, Huang KY, Xu QH, Lu HY, Tarasov P, Luo CX, Beaudouin C, Deng Y, Pan AD, Zheng YW, Luo YL, Nakagawa T, Li CH, Yang SX, Peng HH, Cheddadi R (2014). East Asian pollen database: modern pollen distribution and its quantitative relationship with vegetation and climate. *Journal of Biogeography*, 41, 1819-1832.

特邀编委: 崔金中 责任编辑: 李 敏

附录I 中国现代花粉信息表

Supplement I Modern pollen information of China

<https://www.plant-ecology.com/fileup/1005-264X/PDF/cjpe.2021.0024-D1.xlsx>

附录II 中国现代花粉数据表

Supplement II Modern pollen data of China

<https://www.plant-ecology.com/fileup/1005-264X/PDF/cjpe.2021.0024-D2.xlsx>