中国孢粉学的过去、现在及未来——侧重第四纪孢粉学

孔昭宸¹, 张芸^{1,2*}, 王力^{1,2}, 段晓红^{1,3,4}, 李玉梅⁵

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. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049;

3. 河北地质大学资源学院, 石家庄 050031;

4. 中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 石家庄 050061;

5. 吉林大学地球科学学院, 长春 130061

* 联系人, E-mail: zhangygl@ibcas.ac.cn

2017-09-13 收稿, 2017-11-02 修回, 2017-11-02 接受, 2017-12-29 网络版发表

国家自然科学基金(41572331, 41272386)和中国地质科学院基本科研业务费专项(YW201627)资助

摘要 孢粉学作为植物学的分支学科, 在当代科学的作用与日俱增. 本文从过去、现在和未来的角度阐述了中国孢粉学的发展历程. 中国孢粉学起始于20世纪初叶, 着重阐述1979年以来第四纪孢粉学的研究领域, 其涉及植物与环境、黄土高原、海洋、青藏高原隆升、考古植物学与先民生存环境及食物结构等方面的研究; 进入21世纪, 受全球变化和环境演变的影响, 给予第四纪孢粉学的发展带来了良好机遇和新的挑战.

关键词 第四纪孢粉学, 历史植被, 气候, 环境, 全球变化

1 中国孢粉学的奠基与开拓——1979年孢粉学会成立以前的孢粉学

孢粉学(palynology)作为植物学的分支, 起始于20世纪初叶, 欧洲的孢粉学家于20世纪40年代, 将其研究涉足地理学和植物学领域. 然而中国的孢粉学(包括化石孢粉分析和现代孢粉形态)却起步较晚, 尽管丁肇于1938年曾著文对孢粉分析的方法和应用范围进行过评述^[1]. 但在一定程度上说, 徐仁(1910~1992年)应是中国化石孢粉学的奠基人和开拓者. 1950年, 他曾访问过著名的孢粉学家——埃尔特曼教授的孢粉学实验室, 后又研究了云南泥盆纪的古孢子. 1952年, 他在李四光(1889~1971年)的启迪下, 毅然从印度回国, 先至南京就职于现被称为“中国科学院南京地质古生物研究所”, 组建起中国第一个由研究不同地质时期孢粉学者所组成的孢粉学研究室. 宋之琛(1929~2017年)等编著的《孢子花粉分析》以

及之后陆续出版的各地质时期化石孢粉和《中国地质时期植物群》等专著, 凝聚了这一时期孢粉学家们的研究成果^[2].

为了配合国家蓬勃发展对地质矿产事业的需求, 徐仁教授又于1954年调至北京的中国地质科学院, 首先开办并讲授以孢粉学为主要内容的煤岩学习班, 从而培养出首批化石孢粉分析的人才, 其中不乏成为20世纪50~70年代的地质、煤炭、石油等部门和高校、科研单位孢粉学的领军人物^[3,4]. 由徐仁组建起的地质科学院孢粉学实验室, 涵盖了从前寒武纪至第四纪的研究领域, 所培养的孢粉学家们, 出版了中国及大区域的若干孢粉专著. 1959年他又开始筹建并于1961年正式调至中国科学院植物研究所(以下简称植物所), 并依植物所的研究方向, 将孢粉组的研究方向定位为“新生代历史植被发展及环境演变”, 其间, 他发表的“中国猿人环境”、“希夏邦马峰高山柞化石”以及“中国与北美晚白垩纪及新生代植被联系”等经

引用格式: 孔昭宸, 张芸, 王力, 等. 中国孢粉学的过去、现在及未来——侧重第四纪孢粉学. 科学通报, 2018, 63: 164–171

Kong Z C, Zhang Y, Wang L, et al. The past, present and future of palynology in China—Concentrate on Quaternary palynology (in Chinese). Chin Sci Bull, 2018, 63: 164–171, doi: 10.1360/N972017-00812

典论文中^[5-7], 涵盖着孢粉学研究的成果。

值得提及的是, 由植物所王伏雄教授(1913~1995年)所奠基的现代孢粉形态学, 亦起始于20世纪50年代初期。由他领导的研究群体, 不仅翻译了俄文版的孢粉学经典专著^[8]和埃尔特曼1952年版《花粉形态与植物分类》^[9], 而且出版《中国植物花粉形态》^[10]。之后, 张金谈教授(1929~1992年)于1960年从苏联学成归来, 仍传承着孢粉形态学研究, 并开拓“气传花粉”和“蜜源花粉”研究^[11]。总之, 中国的现代孢粉学家出版的全国及地区性(包括台湾)的植物孢粉形态著作, 已成为化石孢粉研究者用作比对的重要参考书。

2 充满活力的第四纪孢粉学

在经历了跌宕起伏年代之后的1979年3月, 来自地质、石油、煤炭、冶金、医学、海洋、地理部门以及高校和中国科学院等单位的230位孢粉学界的代表, 共聚天津, 进行学术交流和规划未来, 正式成立中国孢粉学会(Palynological Society of China, PSC)。1988年在册会员已超过510名, 孢粉学会每两年举行一次学术大会, 2017年在内蒙古赤峰市召开了第十一次学术会议。中国作为国际孢粉学会联合会的发起国之一, 其注册人数达150名。2000年学会在南京组织召开了第十届国际孢粉学大会。尤其高兴的是, 王伟铭研究员于2017年当选为国际孢粉学会(International Federation of Palynological Societies, IFPS)的副主席, 更增加了中国孢粉学家活动的舞台。

中国第四纪孢粉学的研究时段, 与大约200万年来的植被、环境和人类有关。因受社会关注和学科发展的需求, 其涉及领域和时空尺度要求不断精化, 驱使中国老中青年三代的孢粉学工作者, 长期执着于第四纪孢粉学研究, 其成果已受到海洋、气候、地理、地质、生物和考古界的关注, 现已得到年青一代孢粉学工作者的传承。令人高兴的是, 唐领余等人^[12]收集整理了我国西北、北方、东南、华南和西南五个大区域的第四纪主要孢粉类型、特点以及常见孢粉种类的鉴定形态特征资料, 出版了《中国第四纪孢粉图鉴》。

2.1 孢粉学与环境变化

值得称颂的是, 中国科学院地理科学与资源研究所的李文漪, 在黄秉维(1913~2000年)和施雅风

(1919~2011年)等的倡导下, 于1955年在中国科学院地理科学与资源研究所创办起孢粉学实验室, 她应是中国最早从事第四纪孢粉与植被及环境关系的研究者之一, 其成果凝聚在《中国第四纪植被与环境》专著中^[13], 有关表土和孢粉过程的研究, 后又得到河北师范大学许青海、李月丛^[14]及中国科学院新疆生态与地理研究所阎顺^[15]的进一步传承和拓展。近年来, 刘鸿雁^[16]则以亚洲内陆旱区植被为研究对象, 侧重探讨温带森林、草原、荒漠和湿地等生态系统如何响应环境变化。

2.2 黄土高原地区孢粉

鉴于中国黄土区, 是人类和农业文明的摇篮, 因此备受现代社会经济和文化发展需求的关注, 一生致力于黄土及环境研究的刘东生(1917~2008年)、张宗祜(1926~2014年)及王永焱(1914~1989年)等对于黄土孢粉的研究都寄予了厚望。中国科学院地质与地球物理研究所孢粉实验室于1956年成立, 周昆叔(1934~2016年)发表了山西黄土剖面孢粉分析的论文^[17]。随着孢粉分析技术的提高, 尤其是在黄土环境研究中融入了表层和剖面较高时间分辨率的植硅体分析, 更加丰富了黄土高原历史植被的信息, 从而提出黄土高原地区的古植被不仅受地带性控制, 而且常受局地(沟谷、塬面、基岩)岩性的影响而改变^[18], 但黄土地层孢粉的研究却有助于中国乃至全球对气候、环境及人类活动影响的比对。近年, Jiang等人^[19]依孢粉资料提出黄土高原生态建设的建议。

2.3 海洋孢粉学

20世纪70年代以来, 随着对中国沿海及大陆架区调查与资源勘探, 应海陆地层比对的需求, 第四纪海洋孢粉学得到迅速发展, 同济大学海洋地质系、国家海洋局、地质矿产部、中国科学院等所属的海洋研究所, 先后组建起孢粉学实验室, 并开展了对东海、渤海、黄海、南海区域的陆架、浅海沉积物进行孢粉学(包括藻类、植硅体)研究。其中王开发和王宪曾^[20]不仅对海洋表层及沉积物孢粉进行过研究, 而且培养出不少现今正活跃在孢粉学界的中青年学者。值得关注的是, 随着我国国力的增强, 大洋深钻岩样亟需进行孢粉分析, 从而使孙湘君^[21]开拓了对深海孢粉研究的空間。她依靠南海多个深钻孔的孢粉分析资料, 通过与海洋表层孢粉数据加以比较, 从而以较

高的时间分辨率,恢复了南海周边地区长达百万年的古植被、古气候及古季风的演化历史.其中涉及盛冰期时大陆架上的植被特征,可用作当今对海面变化及其影响研究的参照^[21].

2.4 孢粉学与青藏高原隆升

青藏高原作为地球的第三极,自20世纪70年代以来,中国科学院青藏高原综合考察队就将“青藏高原隆起及其对自然环境和人类活动影响”作为研究的主题.如果说,20世纪60~70年代,大多取自青藏高原自然剖面的孢粉样,尚能粗浅地论述晚新生代以来植被时空变化^[22].而80年代以来既有时间序列支持,又有其他分析资料予以佐证的湖沼相钻孔样品,甚至是冰川、冰雪和粒雪盆样品更准确地解释了青藏高原的植被变化^[23].进入20世纪90年代,青藏高原的孢粉学研究更重视大区域表土孢粉与植被及气候关系研究,尤其强调要靠多学科资料的整合和国内外学者间的团队合作.以求高时间分辨率地揭示出青藏高原晚冰期、盛冰期、新仙女木期和大暖期植被和环境特征.近年通过对西藏东部冰川湖中的陆生或水生植物孢粉特征的研究,提出近几千年来受全球变化和人类活动影响加剧的证据^[24,25].吕厚远^[26]及其团队系统开展了青藏高原和西北干旱区现代表土孢粉和植硅体分析,揭示出青藏高原全新世气候温度、降水时空变化规律.随着第二次青藏高原综合科学考察研究的启动,也许会使中国孢粉学家在揭示青藏高原隆升的机制、过程以及在加强生态文明建设、促进全球生态环境保护中发挥重要的作用.

2.5 孢粉学与全球气候变化

由竺可桢(1890~1974年)开创的中国气候变化研究,自进入20世纪80年代,随着科学界和政府对于全球变暖、海面上升及其在21世纪可能出现的更加剧烈变化前景的关注.由国家自然科学基金及中国科学院联合资助国家重大项目——中国气候和海面变化及其趋势和影响的初步研究(1988~1992年),在施雅风的主持下,发挥多单位、多学科参加的优势,首次阐述了中国全新世大暖期(8.5~3.0 ka BP)的气候和环境特征.鉴于“历史植被是过去环境”的综合体,通过对涉及该时段有代表性的孢粉及其他宏观动植物遗存等相关资料的梳理和整合,表明在7.2~6.0 ka BP期间,中国的植被带较今曾发生过显著的水平带和垂

直带移动,从而支持该时段为大暖期中稳定的暖湿阶段^[27].如依中国知网(CNKI)查询,仅“中国全新世大暖期的气候波动与重要事件”被引617次,下载2913次,阅读热度4.5.而“中国全新世大暖期鼎盛阶段的气候与环境”被引186次,下载1272次,阅读热度4.2.继之,由刘东生主持的“我国干旱半干旱区15万年来环境演变的动态过程及发展趋势”的国家自然科学基金重大项目(1992~1996年).通过对地处黄土高原南缘的渭南剖面所取得的具有多种分析手段予以测试整合的较高时间分辨率的孢粉和植硅体资料分析,揭示了13万年来黄土高原区大的植被类型曾随环境变化发生过多演替,但并非为森林全覆盖^[18,28].

1981~1984年,刘东生和沃克负责中澳第四纪合作项目,由孙湘君、刘金陵等承担植被发展史中的孢粉学课题.就当时看,无论是在技术路线上,还是依据孢粉资料恢复出的云南部分地区晚更新世以来的植被、气候和人类活动间的关系,无疑使中国第四纪孢粉学的研究水准得到进一步提升^[29].

进入20世纪90年代末期,随着全球变化研究的深入,将数十年已有但分散的中国孢粉学资料(表土、地层)加以收集、整理并进行集成,这既是对孢粉-植被和气候关系的整合,又是融入国际孢粉学界的需求和中国孢粉学者的责任.并于1995年,受国家自然科学基金委和美国国家海洋大气局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)经费的资助,由孙湘君、廖淦标(美国路易斯国立大学教授)和于革等组织的,包括台湾在内的20余位孢粉学者组成“中国第四纪孢粉数据库小组”,将取自各植被带的641个表土孢粉数据模拟成中国生物群区,进而又将数据库中具有6 ka BP $\pm$ 500 a的116个样和39个具18 ka BP($\pm$ 2 ka)的孢粉数据,进行生物群区重建,揭示出国际上正在关注的两个关键时段(中全新世和末次盛冰期)的中国森林、草原及荒漠植被带较今出现显著变化,进而得知不同的气候特征^[30~32].进入21世纪,Zheng等人^[33]建立的古环境数据库,采用多种模型,模拟植被与环境参数,已取得具有创新的研究成果.赵艳^[34]则在对我国西北地区开展了野外调查的基础上,采集了代表性地点的现代表土样品或湖泊泥样样品,通过批量花粉鉴定,建立了干旱区花粉与现代气候要素的定性及定量化关系.郭正堂和吕厚远通过近5年的综合工作,在自然背景研究方面,

揭示出目前的全球增温有自然变暖的周期背景,且不同尺度的增温总体有利于我国季风区降水增加,导致森林面积扩大,我国北方沙漠区收缩,陆地生态系统碳储量增加^[35]。近年来随着表土和地层孢粉资料的大量积累,不少中英文文章得以近期发表,仅2000年以来从SCI检索到的中国孢粉学论文就达600余篇。然而中国第四纪晚期以来的孢粉数据过于分散,仍有待整理。在2017年中国孢粉学会十届一次学术会议上,倪健提出了关于孢粉数据库建设的章程(初稿),第四纪孢粉学工作者将会对章程进行修改并促使其完善。

2.6 孢粉学与环境考古

我国考古孢粉学的开展,源于1963年周昆叔对西安半坡遗址的系统分析,之后,徐仁等人相继开展对中国猿人及古代先民生存环境研究。进入20世纪80年代,基于考古界对探讨中国历史时期先民经济生活、食物结构、环境演化与古文化演进的需求,考古孢粉分析进入实验室和人员拓展时期。然而由于考古遗址中取得的孢粉,极易受到人类活动的干扰,因此取自文化层的孢粉常受到质疑,而取自与文化期时段可资对比的自然剖面孢粉组合,则更助于响应人类文化兴衰的环境特征。靳桂云和刘东生^[36]曾对地处河北怀来太师庄泥炭剖面所揭示出的具有6.0~3.0 ka BP时段的孢粉分析,氧同位素测定的系统数据,并与邻近燕山南北长城地带分布的新石器时代中期至青铜时代早期文化期加以比较,从而提出在4.6~4.2 ka BP出现的强降温 and 干燥的环境,导致了以玉器为代表的红山文化衰落和小河沿文化的低谷。孔昭宸等人^[22]则应用孢粉分析和植物遗存中果实、种子、木材和炭屑鉴定资料,初步提出中国西部11 ka BP以来的植被、环境和先民文化兴衰的阶段性特征。值得称颂的是,早在1993年,王永吉和吕厚远^[37]就出版了《植物硅酸体研究及应用》。嗣后,Yang等人^[38]和Lü等人^[39]又拓展了植硅体、淀粉粒在考古中学的应用,从而在有关原始农作物起源和先民的食物结构的研究上,走在国际前列。随着1994年中国环境考古专业委员会的成立,至2016年,已开过6届环境考古学大会。每次会议上都提交了包括植硅体、淀粉粒、硅藻在内的孢粉分析和大植物遗存鉴定资料,将有助于推动当前对人类起源、农业起源和文明起源等热点的研究。

3 中国第四纪孢粉学亟待解决的问题

将孢粉-植被-气候及人类关系予以整合,其机制及过程无疑是该学科基础理论的努力方向。

3.1 孢粉鉴定

孢粉鉴定是从事第四纪孢粉学研究的基础。研究者除应具有足够的植物、地理、气象知识外,还需要使用专业的工具。一方面,由于受光学显微镜放大倍数和分辨率的限制,难以区别花粉粒表面纹饰间的差异。因此目前孢粉鉴定很难鉴定到种级水平,木本植物多鉴定到属,草本植物甚至停留在科级水平,为利用孢粉资料重建古植被、古气候带来较多不确定性。另一方面,我国目前从事孢粉学研究,特别是新近从事孢粉学研究及分析人员的孢粉鉴定水平有待提高。

3.2 孢粉与植被的关系

孢粉与植被不是简单的线性关系,它们之间的关系仍存在许多不确定性,而建立花粉与植被的定量关系一直是孢粉学家追寻的目标,并建立起诸多模型^[40~42]。但如何建立可信的花粉-植被关系模型仍是有待解决的问题。另外,孢粉可成为人类出现、活动和找到土地利用的证据,大量栽培作物花粉以及伴人植物花粉则被认为是人类活动的良好指示体^[43,44],可以用来评价人类活动对环境的干扰^[45]。因此,人类活动对花粉传播和保存的影响也是不可忽视的研究问题^[46]。

3.3 花粉现代过程

花粉现代过程研究是第四纪花粉分析的基础,对正确解释地层花粉组合,定量恢复古植被、古气候至关重要。花粉现代过程研究包括花粉产量、花粉传播、花粉来源范围、花粉沉积、花粉保存等方面^[47~49]。近年来,我国孢粉学者在花粉现代过程研究方面开展了很多卓有成效的工作,取得了长足进展^[50],但仍显不足。因此,孢粉学研究不应单独进行,通过吸收相关学科资料(包括分子生物学)的互补和整合,无疑是非常重要的。

4 社会需求推动中国孢粉学的发展和挑战

进入21世纪,受全球变化研究的重视,作为对过

去全球变化(past global changes, PAGES)研究的领域,第四纪孢粉学研究迎来发展机遇,在中国各自从属研究的部门(地质、地理、海洋、湖沼、生物、考古等)和高校都相继组建起各具有专业特色又有人才优势的孢粉学(包括植硅体、淀粉粒、硅藻和植物遗存)研究群体. 其中既拥有“百人计划”(于革、赵艳)、国家杰出青年科学基金获得者(吕厚远、赵艳和刘鸿雁)以及长江学者(翁成郁)等所在单位涉及的孢粉学领域,又在我国部分高校中,如北京大学刘鸿雁等研究第四纪生态变化及人类活动的影响,探讨森林、灌丛、草原乃至荒漠植被对气候干旱化的生态适应性机理;河北师范大学许清海^[32]、李月丛等则着重研究花粉过程(产量、传播、沉积保存及土地利用);兰州大学的赵艳(现已调至中国科学院地理科学与资源研究所)等曾依托兰州大学西部环境与气候变化研究院拥有的先进实验设备和国内外合作优势,探讨我国西北干旱区环境的现代过程、干旱生态系统历史重建、干旱生态系统对气候变化的响应规律以及水资源变化及对土地利用格局的影响;中山大学郑卓等侧重中国热带、亚热带孢粉-植被-气候-人类关系的研究;同济大学翁成郁等则对海洋孢粉传播沉积机理研究等. 总之,各研究单位既产出科研成果,又储备了孢粉学的研究人才.

近十年,面对全球变化对社会发展及人类生存

环境(大气、水、土壤及食物等)的严重影响,第四纪地质及环境孢粉学作为研究过去全球变化(PAGES)的重要工具,迎来的既是发展的机遇,同时亦会对其发展带来挑战. 诸如:如何提高青藏高原、西部干旱半干旱区以及热带亚热带孢粉鉴定的准确率,从而建立可信的花粉-植被之间的关系模型;通过对表土、大气和水乃至岩石等花粉传播媒介,开展花粉产量、花粉传播、花粉来源范围、花粉沉积、花粉保存等花粉现代过程的系统研究;将已知的高时间分辨率的孢粉序列,运用多种数学方法,使其孢粉资料在恢复历史植被、气候及人为影响上从定性向定量化发展. 另外,将人类土地利用数据与孢粉学及气象数据加以结合,用于定量恢复过去植被景观和土地利用情况,通过建立合适的数学模型,为区分气候变化和人类活动在植被动态中的作用提供重要技术手段. 当然,只有依靠多学科资料的整合和国内外间的协作,才能依托国家重大战略的需求,使中国第四纪孢粉学研究水准得到进一步提升. 无疑,将孢粉学研究对象从种子植物花粉、蕨类孢子进一步拓宽到苔藓、藻类、菌类、地衣乃至尚不知亲缘关系的某些生物残体(植物气孔和鳞片等),亦要做出不可小觑的努力. 另外,将孢粉分析资料应用于农业、地质、医药乃至法庭证据以及在构建国家生态建设和文化建设等方面,都能成为第四纪孢粉工作者努力的方向.

致谢 感谢审稿专家对本文提出的中肯的建议和补充意见.

参考文献

- 1 Ding S. Pollen analysis method and application (in Chinese). Geol Rev, 1938, 3: 611–621 [丁骥. 孢粉分析方法及其应用. 地质论评, 1938, 3: 611–621]
- 2 Song Z C. Analysis of Spores and Pollen Grains (in Chinese). Beijing: Science Press, 1965 [宋之琛. 孢子花粉分析. 北京: 科学出版社, 1965]
- 3 Wang K F, Xu X. Quaternary Palynology (in Chinese). Guiyang: Guizhou People's Press, 1988 [王开发, 徐馨. 第四纪孢粉学. 贵阳: 贵州人民出版社, 1988]
- 4 Wang W M. Progress and prospect of studies on palynology in China (in Chinese). Acta Palaeontol Sin, 2009, 48: 338–346 [王伟铭. 中国孢粉学的研究进展与展望. 古生物学报, 2009, 48: 338–346]
- 5 Hsü J. The climatic condition in North China during the time of Sinanthropus. Sci Sin, 1966, 15: 410–414
- 6 Hsü J. Late Cretaceous and Cenozoic vegetation in China, emphasizing their connections with North America. Ann Miss Bot Gard, 1983, 70: 490–508
- 7 Xu R, Tao J R, Sun X J. On the discovery of a *Quercus Semicarpifolia* bed in Mount Shisha Pangma and its significance in botany and geology (in Chinese). Acta Bot Sin, 1973, 15: 102–119 [徐仁, 陶君容, 孙湘君. 希夏邦马峰高山栎化石层的发现及其在植物学和地质学上的意义. 植物学报, 1973, 15: 102–119]
- 8 Покровская Н М. Wang F X, translated. Pollen Analysis (in Chinese). Beijing: Science Press, 1956 [Покровская Н М. 王伏雄, 译. 花

- 粉分析. 北京: 科学出版社, 1956]
- 9 Erdtman G, Wang F X, Qian N F, translated. Pollen Morphology and Plant Taxonomy (in Chinese). Beijing: Science Press, 1962 [Erdtman G. 王伏雄, 钱南芬, 译. 花粉形态与植物分类. 北京: 科学出版社, 1962]
  - 10 Wang F X, Qian N F, Zhang Y L, et al. Pollen Flora of China (in Chinese). Beijing: Science Press, 1995 [王伏雄, 钱南芬, 张玉龙, 等. 中国植物花粉形态. 北京: 科学出版社, 1995]
  - 11 Zhang J T, Wang P L, Hao H P, et al. Application Research of Modern Pollen (in Chinese). Beijing: Science Press, 1990 [张金谈, 王萍莉, 郝海平, 等. 现代花粉应用研究. 北京: 科学出版社, 1990]
  - 12 Tang L Y, Mao L M, Shu J W, et al. An Illustrated Handbook of Quaternary Pollen Spores in China (in Chinese). Beijing: Science Press, 2017 [唐领余, 毛礼米, 舒军武, 等. 中国第四纪孢粉图鉴. 北京: 科学出版社, 2017]
  - 13 Li W Y. Vegetation and Environment of Quaternary in China (in Chinese). Beijing: Science Press, 1998 [李文漪. 中国第四纪植被与环境. 北京: 科学出版社, 1998]
  - 14 Xu Q H, Li Y C, Yang X L, et al. Source and distribution of pollen in the surface sediment of Daihai Lake, inner Mongolia. *Quat Inter*, 2005, 136: 33–45
  - 15 Yan S, Kong Z C, Yang Z J, et al. Seeking relationship between vegetation and *Picea* pollen in surface soils of Xinjiang, northwestern China (in Chinese). *Acta Ecol Sin*, 2004, 24: 2017–2023 [阎顺, 孔昭宸, 杨振京, 等. 新疆表土中云杉花粉与植被的关系. 生态学报, 2004, 24: 2017–2023]
  - 16 Hao Q, Liu H Y, Liu X. Pollen-detected altitudinal migration of forests during the Holocene in the mountainous forest-steppe ecotone in northern China. *Paleogeogr Paleoclimatol Paleoecon*, 2016, 446: 70–77
  - 17 Zhou K S, Liang X L, Ye Y Y, et al. Analysis of loess pollen in Liu Shu Gully of Wu Cheng at Shanxi (in Chinese). In: *Pollen Analysis of Quaternary and Paleoenvironment*. Beijing: Science Press, 1960 [周昆叔, 梁秀龙, 叶永英, 等. 山西午城柳树沟黄土花粉分析. 见: 第四纪孢粉分析与古环境. 北京: 科学出版社, 1960]
  - 18 Liu D S. The Evolution of Nature Environment and Development Trend in North-West China (in Chinese). Beijing: Science Press, 2004. 191–244 [刘东生. 西北地区自然环境演变及其发展趋势. 北京: 科学出版社, 2004. 191–244]
  - 19 Jiang W Y, Chen Y F, Yang X X, et al. Chinese Loess Plateau vegetation since the Last Glacial Maximum and its implications for vegetation restoration. *J Appl Ecol*, 2013, 50: 440–448
  - 20 Wang K F, Wang X Z. Introduction to Palynology (in Chinese). Beijing: Peking University Press, 1983 [王开发, 王宪曾. 孢粉学概论. 北京: 北京大学出版社, 1983]
  - 21 Sun X J, Luo Y L, Chen H C. The research development of China Quaternary deep-sea pollen (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2003, 48: 1613–1621 [孙湘君, 罗运利, 陈怀成. 中国第四纪深海孢粉研究进展. 科学通报, 2003, 48: 1613–1621]
  - 22 Kong Z C, Du N Q, Shan F S. A Preliminary study of vegetational changes in space-time on Qinghai-Xizang Plateau since Late Cenozoic (in Chinese). *Acta Micropalaeontol Sin*, 1996, 13: 339–351 [孔昭宸, 杜乃秋, 山发寿. 青藏高原晚新生代以来植被时空变化的初步探讨. 微体古生物学报, 1996, 13: 339–351]
  - 23 Tang L Y, Wang R, Kong Z C. Pollen analytical investigation of the Ruoguo Glacier in southeast Xizang (in Chinese). *Acta Bot Sin*, 1983, 25: 171–178 [唐领余, 王睿, 孔昭宸. 西藏东南部若果冰川的孢粉分析. 植物学报, 1983, 25: 171–178]
  - 24 Wischniewski J, Kramer A, Kong Z C, et al. Terrestrial and aquatic responses to climate change and human impact on the southeastern Tibetan Plateau during the past two centuries. *Glob Change Biol*, 2011, 17: 3376–3391
  - 25 Zhang Y, Kong Z C, Zhang Q B, et al. Holocene climate events inferred from modern and fossil pollen records in Butuo Lake, Eastern Qinghai-Tibetan Plateau. *Clim Change*, 2015, 133: 223–235
  - 26 Lü H Y, Wu N Q, Liu K B, et al. Modern pollen distributions in Qinghai-Tibetan Plateau and the development of transfer functions for reconstructing Holocene environmental changes. *Quat Sci Rev*, 2011, 30: 947–966
  - 27 Shi Y F, Kong Z C, Wang S M, et al. Mid-Holocene climates and environments in China. *Glob Planet Change*, 1993, 7: 219–234
  - 28 Liu D S. Loess and Arid Environment (in Chinese). Hefei: Anhui Science & Technology Publishing House, 2009 [刘东生. 黄土与干旱环境. 合肥: 安徽科学技术出版社, 2009]
  - 29 Members of China and Australia Quaternary Cooperation Research Chinese Academy of Sciences. Collection of China-Australia Quaternary Symposium (in Chinese). Beijing: Science Press, 1987 [中国科学院中澳第四纪合作研究组. 中国-澳大利亚第四纪学术讨论会论文集. 北京: 科学出版社, 1987]
  - 30 Members of China Quaternary Pollen Data Base. Pollen-based biome reconstruction at Middle Holocene (6 ka BP) and Last Glacial Maximum (18 ka BP) in China (in Chinese). *Acta Bot Sin*, 2000, 42: 1201–1209 [中国第四纪孢粉数据库小组. 中国中全新世(6 ka BP)和末次盛冰期(18 ka BP)生物群区的重建. 植物学报, 2000, 42: 1201–1209]
  - 31 Members of China Quaternary Pollen Data Base. Simulation of China biome reconstruction based on pollen data from surface sediment samples (in Chinese). *Acta Bot Sin*, 2001, 43: 201–209 [中国第四纪孢粉数据库小组. 表土孢粉模拟的中国生物群区. 植物学报,

- 2001, 43: 201–209]
- 32 Yu G, Chen X, Ni J, et al. Palaeovegetation of China: A pollen data-based synthesis for the mid-Holocene and last glacial maximum. *J Biogeogr*, 2000, 27: 635–664
- 33 Zheng Z, Huang K Y, Xu Q H, et al. Comparison of climatic threshold of geographical distribution between dominant plants and surface pollen in China. *Sci China Ser D-Earth Sci*, 2008, 51: 1107–1120
- 34 Zhao Y, Li F R, Hou Y T, et al. Surface pollen and its relationships with modern vegetation and climate on the Loess Plateau and surrounding deserts. *Rev Palaeobot Palynol*, 2012, 181: 47–53
- 35 Guo Z T, Ren X B, Lü H Y, et al. Effect of paleoclimate changes and human adaptation—Progress on “Impact and Adaptation” Group of CAS Strategic Priority Research Program “Climate Change: Carbon Budget and Relevant Issues”. *Bull Chin Acad Sci*, 2016, 1: 142–151 [郭正堂, 任小波, 吕厚远, 等. 过去 2 万年以来气候变化的影响与人类适应——中国科学院战略性先导科技专项“应对气候变化的碳收支认证及相关问题”之影响与适应任务群研究进展. *中国科学院院刊*, 2016, 1: 142–151]
- 36 Jin G Y, Liu D S. Temperature drop at Mid-Holocene in north China and ancient cultural transition (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2001, 46: 1725–1730 [靳桂云, 刘东生. 华北北部中全新世降温气候事件与古文化变迁. *科学通报*, 2001, 46: 1725–1730]
- 37 Wang Y J, Lü H Y. *Phytolith Study and Its Application* (in Chinese). Beijing: China Ocean Press, 1993 [王永吉, 吕厚远. 植物硅酸体研究及应用. 北京: 海洋出版社, 1993]
- 38 Yang X Y, Wan Z W, Perry L. Early millet use in northern China. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2012, 109: 3726–3730
- 39 Lü H Y, Yang X Y, Ye M L, et al. Millet noodles in Late Neolithic China. *Nature*, 2005, 437: 967–968
- 40 Prentice I C. Pollen representation, source area, and basin size: Toward a unified theory of pollen analysis. *Quat Res*, 1985, 23: 76–86
- 41 Sugita S. Pollen representation of vegetation in Quaternary sediments: Theory and method in patchy vegetation. *J Ecol*, 1994, 82: 881–897
- 42 Zhang S R, Xu Q H, Gaillard M J, et al. Characteristic pollen source area and vertical pollen dispersal and deposition in a mixed coniferous and deciduous broad-leaved woodland in the Changbai Mountains, northeast China. *Veget Hist Archaeobot*, 2016, 25: 29–43
- 43 Li Y Y, Nielsen A B, Zhao X Q, et al. Pollen production estimates (PPEs) and fall speeds for major tree taxa and relevant source areas of pollen (RSAP) in Changbai Mountain, northeastern China. *Rev Palaeobot Palynol*, 2015, 216: 92–100
- 44 Xu Q H. *The Pollen Morphology of Chinese Common Cultivated Plants* (in Chinese). Beijing: Science Press, 2015 [许清海. 中国常见栽培植物的花粉形态. 北京: 科学出版社, 2015]
- 45 Zhang H, Zhang Y, Kong Z C, et al. Late Holocene climate change and anthropogenic activities in north Xinjiang: Evidence from a peatland archive, the Caotianhu wetland. *Holocene*, 2015, 25: 323–332
- 46 Zhang Y, Kong Z C, Wang G H, et al. Anthropogenic and climatic impacts on surface pollen assemblages along the Northeast China Transect (NECT). *Glob Ecol Biogeogr*, 2010, 19: 621–631
- 47 Xu Q H, Li Y C, Li Y, et al. The discussion of modern pollen and Quaternary environmental study (in Chinese). *Prog Nat Sci*, 2006, 16: 647–656 [许清海, 李月丛, 李育, 等. 现代花粉过程与第四纪环境研究若干问题讨论. *自然科学进展*, 2006, 16: 647–656]
- 48 Xu Q H, Tian F, Bunting M J, et al. Pollen source areas of lakes with inflowing rivers: Modern pollen influx data from Lake Baiyangdian, China. *Quat Sci Rev*, 2012, 37: 81–91
- 49 Xu Q H, Zhang S R, Gaillard Marie-Jose, et al. Studies of modern pollen assemblages for pollen dispersal-deposition- preservation process understanding and for pollen-based reconstructions of past vegetation, climate, and human impact: A review based on case studies in China. *Quat Sci Rev*, 2016, 149: 151–166
- 50 Zheng Z, Wei J H, Huang K Y, et al. East Asian pollen database: Modern pollen distribution and its quantitative relationship with vegetation and climate. *J Biogeogr*, 2014, 41: 1819–1832

Summary for “中国孢粉学的过去、现在及未来——侧重第四纪孢粉学”

The past, present and future of palynology in China—Concentrate on Quaternary palynology

Zhaochen Kong¹, Yun Zhang^{1,2*}, Li Wang^{1,2}, Xiaohong Duan^{1,3,4} & Yumei Li⁵

¹ State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China;

² College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

³ College of Resources, Hebei GEO University, Shijiazhuang 050031, China;

⁴ Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Shijiazhuang 050061, China;

⁵ College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China

* Corresponding author, E-mail: zhangyl@ibcas.ac.cn

Palynology is a branch of botany with an increasingly important role in the development of modern nature science. It was originally established in Europe during the early twentieth century and has flourished in China since the 1950s. This paper discusses the development of palynology in China from the historical, contemporaneous, and future perspectives. Specifically, we focus on the development of Quaternary palynology since 1979.

Quaternary palynology involves six research fields: plants and environment, Loess Plateau, ocean, the uplift of the Tibetan Plateau, global climate change, and environmental archaeology in this paper. Palynologists who study environmental changes mainly focus on the relationships among pollen, vegetation, and environment. The high-resolution analyses of pollen records in the surface soil and sediment profiles of Loess Plateaus have promoted the development of information about paleovegetation and paleoenvironment and enabled the comparison of past climate changes and effects of human activities with global changes. By analyzing pollen data from surface water samples and marine drilling cores, palynologists have made significant progress in elucidating the high-resolution evolutionary history of paleovegetation, paleoclimate, and paleomonsoon in South China Sea and its surrounding regions on the time scales of several million years. Such progress has benefitted research on global sea level changes. The uplift of the Tibetan Plateau has been a hot area of research for several years. Palynologists have explored the vegetational, climatic, and environmental features of different periods, such as the Late Glacial, the Last Glacial Maximum, the Younger Dryas, and the Holocene Megathermal, to reveal the mechanism and process of the uplift of the Tibetan Plateau. The application of Quaternary palynology to environmental archeology not only facilitates understanding of the needs of the economic life and food structure of ancestral humans, the evolution of paleoenvironment and the rise and fall of culture, but also promotes current research on the origin of human, agricultural and civilization.

Although Quaternary palynology has made remarkable achievements in many research fields, three problems require urgent solutions. First, the low magnification and resolution of optical microscopy complicate palynological identification on the species level and introduce a degree of uncertainty to the reconstruction of paleovegetation, paleoenvironment and paleoclimate. Second, pollen does not show a simple linear relationship with vegetation. Thus, a reliable pollen-vegetation relationship model remains to be established. Third, research on modern pollen processes, which includes pollen production, transportation, source, deposition, and preservation, has a crucial role in the correct explanation of pollen data and quantitative reconstruction of the paleovegetation and paleoenvironment.

Global changes and the impact of environmental evolution have provided excellent opportunities and new challenges for the development of Quaternary palynology in the new century. These opportunities and challenges are as follows: First, the accuracy of pollen identification must be improved to establish a reliable pollen-vegetation relationship model. Second, systemic theoretical studies on modern pollen processes, such as pollen production, transportation, source, deposition, and preservation, should be conducted using surfaces, atmosphere, water, and rock as media. Third, the reconstruction of paleovegetation and paleoclimate from the qualitative and quantitative analyses of high-resolution pollen assemblages should receive additional efforts. Pollen records should be analyzed using various mathematical methods. Finally, to distinguish the role of climate change and human activities in vegetation and climate dynamics, human land use data, surface and fossil pollen data, and meteorological data can be combined to quantify paleovegetation and land use patterns using appropriate mathematical models. Therefore, only by relying on the integration of multidisciplinary data and academic cooperation with colleagues at home and abroad can we further improve the Quaternary palynological research in China and better serve the needs of our society and national strategies.

Quaternary palynology, vegetation in historical period, climate, environment, global change

doi: 10.1360/N972017-00812