



人类活动的孢粉指示体

李宜垠, 周力平, 崔海亭

北京大学地理系, 地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871

E-mail: lyy@urbom.pku.edu.cn

2007-11-26 收稿, 2008-02-16 接受

国家自然科学基金(批准号: 40271105)和国家重点基础研究发展计划(批准号: 2004CB720207)资助项目

摘要 过去人类活动的特征及其环境效应是全球变化研究的热点问题. 孢粉记录作为揭示过去人类活动对景观影响的代用指标, 有几个重要的特征: (1) 某些特有乔木花粉的减少; (2) 先锋树种花粉的繁盛; (3) 栽培作物和杂草花粉相伴生; (4) 花粉浓度和分异度的显著变化; (5) 喜氮植物和牧场杂草花粉的出现. 伴人植物(杂草和栽培作物)花粉是理想的人类活动指示体, 尤其是杂草花粉, 它反映了人类活动历史. 不同方式的人类活动产生不同的孢粉组合. 在森林区和草原区, 指示人类活动的花粉谱模式是不同的. 应用孢粉变化特征来研究人类活动时, 特别要强调高精度的时空分辨率. 因为高精度的空间分辨率不仅有助于反映植被景观的复杂性, 更重要的是能够清楚地揭示出人类活动对景观的干扰作用, 防止片面性; 高精度的时间分辨率能够精确地记录短时间尺度的植被变化, 避免遗漏人类活动事件. 重视孢粉学与其他多种指标的结合, 能更加准确地揭示景观的发展变化过程. 炭屑作为人类活动对植被扰动的代用指标, 其峰值的出现常伴随着乔木花粉的大量减少和伴人植物花粉的显著增加.

关键词
孢粉
伴人植物
人类活动
杂草
古环境
景观演变

用孢粉资料来定量估算古温度、古降水已经是一种卓有成效的方法^[1-6], 其中以转换函数、响应面方法和Biomization模型应用最为广泛. 但是, 这些研究更多地重视自然过程, 极少涉及人类活动的环境效应. 随着取样精度的提高和栽培作物及一些重要孢粉类型的准确鉴定到种, 孢粉学的研究越来越紧密地与生态学、考古学结合在一起, 并用来探讨人类活动对景观的影响. 国际上在这方面已有许多成功的研究范例^[7-10]. Firbas^[11]和Iversen^[12]是最早把孢粉资料运用于人类活动对植被影响研究的前驱. 20 世纪 80 年代以来, 随着Dimbleby^[13]的“The Palynology of Archaeological Sites”, Behre^[14]的“Anthropogenic Indicators in Pollen Diagram”和Birks等人^[9]的“The Cultural Landscape—Past, Present and Future”这些很有影响的专著先后问世, 人类活动影响下的孢粉记录引起了人们越来越广泛的关注. 一些人们想象中的“净土”, 其实都留有人为改造的痕迹^[15-18]. 亚马逊河热带雨林的迅速减少, 中国生态环

境的日益恶化, 这些都与人类活动有着直接的关系^[19-21]. 今天的地表景观是过去气候变化和人类活动的产物, 科学家们提出了人类世(Anthropocene)的概念, 以强调人这一重要营力对环境的影响^[22,23].

人类活动影响下的生态系统和景观的结构、功能变化过程是一个重要的科学问题. 提高古环境重建的准确性必须考虑人类活动的影响. 但是, 由于人类活动具有很大的不确定性和复杂性, 在古记录中要准确地辨识和量化很不容易, 迫切需要通过代用指标来进行. 孢粉分析由于能提供受扰动前的植被状况及扰动后植被变化的速率、模式和变化趋势, 同时带有明显的数量统计特征, 因而是半定量-定量化研究人类活动的一个有力工具.

欧洲和美洲是人类活动孢粉记录研究最为详尽的地区. 早在 20 世纪 40 年代, Firbas^[11], Iversen^[12]用乔木花粉和谷物花粉的变化来研究人类活动对植被的影响, 后来 Berglund^[24], Kvamme^[25], Kaland^[26],

Hicks^[27], Carpelan等人^[28]在耕地、狩猎采集地和放牧场等不同文化景观单元上作了详细的工作。出现豚草(*Ambrosia*)、扁蓄(*Polygonum aviculare*)、酸模(*Rumex acetose*)、长叶车前(*Plantago lanceolata*)、芥(*Capsella*)、蓍(*Achillea*)、猪毛菜(*Salsola*)的孢粉记录反映了这些物种入侵的生态过程,揭示了欧洲人拓殖新大陆,大规模清理土地的活动^[8,29-33]。近年来,基于孢粉资料、用模型定量模拟史前文化景观取得了长足进展^[34-37]。但是,在寻找反映人类活动的生态学证据时,一些伴人杂草植物花粉(如荨麻(*Urtica*)、野西瓜苗(*Hibiscus trionum*)、葎草(*Humulus*)、骆驼蓬(*Peganum*)、天仙子(*Hyoscyamus*)、龙葵(*Solanum nigrum*)、曼陀罗(*Datura*)还没有得到足够的重视,而这些杂草花粉对揭示史前人类活动很有帮助,正如Anderson^[38]指出:杂草的历史就是人类的历史。

中国有着悠久的人类活动历史和多种多样的自然环境条件,同时拥有丰富的历史文献和考古资料,环境考古的研究开展较早,并具有特色^[39-41]。但是,早期的研究由于地貌和沉积等条件不够理想,大部分地点取样分辨率比较低,测年精度也不够高,孢粉分类的统计代表性也不恰当,这些不足在一定程度上阻碍了用孢粉进行人类活动的研究^[42]。近年来,中国史前人类活动对植被影响的研究越来越深入。Ren^[43]通过多个剖面的孢粉序列分析,揭示了区域宏观植被时空演变的规律,为认识过去人类活动和气候变化如何影响环境提供了很好的思路。Li等人^[44]则把孢粉分析与种子、植硅体分析结合起来研究史前农业活动及其环境效应。

与欧美地区相比,中国人类活动历史更长,强度更大,森林郁闭度一般比较低;气候与人类活动的影响致使中国东部大部分地区缺乏良好的孢粉剖面或采样地点;加之中国北方和西部湖泊沉积年代受硬水或碳库效应影响明显,这些都使人类活动的研究变得复杂。人类活动孢粉指示体的研究对了解景观演变过程及其驱动力,评价人类活动和气候变化对人类生存环境的影响具有重要的理论和现实意义。西方的研究方法和结果对我国史前人类活动研究很有启发,并具有参考价值。

1 反映人类活动的孢粉谱特征

1.1 乔木花粉的减少

人类活动与气候变化引起的乔木花粉减少的变

化规律不尽相同。前者一般发生在同一区域不同地点有选择性的某些乔木花粉的减少;后者发生在一个很大的空间范围内,并且一般是对气候变化比较敏感的多种乔木花粉的同时减少。

榆树(*Ulmus*)的减少(elm-decline)是一个研究最为详细的实例^[45]。在5100 a BP欧洲的许多地方发现有榆树花粉减少的现象。进一步的研究表明,榆树减少在5500~4950, 4600, 4470~3945, 4050~3750, 2950~2650 a BP等多个时段也有所反映^[46,47]。导致榆树减少的原因由于证据的不同,有多种解释。Troels-Smith^[48], Rasmussen^[49], Heybroek^[50]认为人们反复采摘榆树枝叶饲养家畜或为了方便牲畜采食榆树叶,大量砍伐榆树,使其灌丛化,影响榆树开花,从而导致榆树的减少,这时榆树的减少与其他阔叶树的减少是不同步的。Scaife^[51]和Whittington等人^[52]则认为榆树花粉减少的同时伴随谷物花粉,如大麦(*Hordeum*)、小麦(*Triticum*)及大量杂草花粉出现,反映了古代人类为了种植谷物和放牧,放火毁林或砍伐形成林间空地,致使榆树和其他阔叶树一齐衰减。

在欧洲,森林被农田和牧场代替的标志是乔木花粉的减少和豚草、车前、禾本科(Gramineae)、紫苑(*Aster*)等杂草花粉的增加^[9]。苏格兰南部,当清除了松桦林后,禾本科、欧石楠(*Calluna*)、委陵菜(*Potentilla*)花粉和炭屑增加,蕨类孢子减少^[53]。在北美,栗(*Castanea*)花粉的减少与人们20世纪早期从亚洲移植栗树引发栗枯病密切相关^[54]。同样,19世纪欧洲人占据加拿大安大略省后,使得槭树(*Acer*)和山毛榉(*Fagus*)花粉减少,豚草、车前、马齿苋(*Portulaca*)、酸模花粉大量增加^[32]。在中国北方,椴(*Tilia*)、栎(*Quercus*)、榛(*Corylus*)花粉的减少也与人类活动密切相关^[55]。

1.2 先锋树种花粉的显著增加

在欧洲和北美等地,椴、栎、栲(*Fraxinus*)花粉浓度高峰值后,常有松(*Pinus*)、赤杨(*Alnus*)、桦(*Betula*)和榛等喜光的先锋树种花粉浓度和通量高峰值出现,反映了原生植被遭破坏,次生植被发育的状况^[56,57]。Smith^[58]和Chamber等人^[59]发现全新世榛和赤杨花粉的峰值出现在炭屑和禾本科花粉峰值之后,他们认为这是由于进行农耕时要清除榛灌丛,所以在耕作期,榛花粉含量低;而当撂荒后,榛在弃耕地上繁殖起来。赤杨、松、桦也和榛一样,火烧森林后能促使它进一步扩展。所以,榛、赤杨、松和桦的繁盛表明在此之前

可能存在着人类活动对植被的干扰作用。但是, Edwards^[60], Caseldine和Maguire^[61]认为由于一些沉积剖面反映出炭屑与榛花粉的关系并不密切, 因此榛的繁盛与火烧关系并不大, 榛花粉的减少可能与古人过度采集榛子食用和砍伐榛木作为薪柴有关。

1.3 栽培作物和田间杂草花粉相伴生

从大量农作物花粉与杂草植物花粉相伴生可推知农业活动。在世界各地的许多考古遗址点, 都发现有玉米(*Zea mays*)或其他谷物类花粉与马齿苋、酸模、车前、荨麻等杂草花粉同时出现^[14,32], 反映了当时的农耕状况。在北美中西部, 大麻和葎草(*Cannabis/Humulus*)的出现与史料记载的该地区 20 世纪早期大麻种植活动有关^[62,63]。在北美东部, 豚草与其他一些杂草花粉的大量出现, 豚草花粉含量甚至达到了 20%~50%, 指示着欧洲人到来后开发荒地的活动, 甚至作为地层标志^[64,65]。大量的豚草花粉在美国中西部和东南部只出现在森林稀少、农田分布广泛的地区^[66-68]。在北美沉积物中, 长叶车前、大车前(*P. major*)和酸模的花粉在欧洲人定居前没有出现, 表明这些是人类携带而来的物种^[32]。

1.4 花粉通量或浓度及丰富度的变化

人类清除森林植被导致乔木花粉通量或浓度的增加还是减少, 这存在争议。Aaby^[69]认为在郁闭森林被扰动初期, 乔木花粉的通量是增加的, 这可能是郁闭度的减小, 不仅有利于开花植物繁盛, 也有利于某些植物花粉传播。但严重的毁林(皆伐或焚烧), 则使得乔木花粉的浓度减少。也有研究表明, 人类活动常常导致花粉浓度或通量减小^[46,52,70,71]。

Birks等人^[72]提出用rarefaction analysis反映孢粉类型的多样性程度, 指示孢粉源区内植物的丰富度和景观镶嵌结构的复杂性。例如, 在北欧, 史前人类把森林变成了农田、林地、居住地、放牧场、道路等, 景观异质性增强, 也使孢粉类型的多样性增加。在局域尺度上, 孢粉丰富度与周边植被物种多样性成正比^[73]。

1.5 喜氮植物和牧场杂草花粉的出现

在人类住地和牲畜群聚集地及耕地, 由于有意和无意的施肥, 常有大量喜氮植物——天仙子、马尿泡(*Przewalskia*)、龙葵、骆驼蓬、曼陀罗、卷耳(*Cerastium avvense*)出现。

中国北方内蒙古草原放牧地常能发现茄属(*Solanum*), 石竹科(*Caryophyllaceae*)及大量的藜科(*Chenopodiaceae*)、蒿属(*Artemisia*)等花粉^[74]。在美国

西部, 刺柏(*Juniperus*)花粉和子囊菌孢(*Sporormiella*)可作为家畜放养的指示^[75]。长叶车前、酸模、毛茛(*Ranunculus acris*)和紫菀是牧场和割草场比较常见的花粉类型^[76]。

2 伴人植物花粉

伴人植物(anthropogenic plant)是指借助于人类活动传播和扩大分布区的植物^[77]。栽培作物、田园和庭院杂草都属于伴人植物。栽培作物是人类赖以生存的基础, 包括粮食作物、纤维作物、油料作物、果树、蔬菜等。主要由禾本科、茄科(*Solanaceae*)、旋花科(*Convolvulaceae*)、伞形科(*Umbelliferae*)、石蒜科(*Amaryllidaceae*)、葫芦科(*Cucurbitaceae*)、豆科(*Leguminosae*)、大麻科(*Cannabidaceae*)、十字花科(*Cruciferae*)、蔷薇科(*Rosaceae*)等组成。与人类生活密切相关的栽培作物只有 30 多种。杂草是能够在人工生境中繁衍其种族的植物^[78]。杂草的起源和传播与人类活动密切相关, 它常常是次生演替的先锋植物。比如北美洲的长叶车前和豚草是随着欧洲人传入美洲的, 它常在拓荒者开垦的土地上定殖, 被印地安人称为“白人的脚印”。

虽然不同的气候带有其代表性的杂草类型, 但许多杂草为广布种, 不同地区的杂草彼此相似^[79]。杂草大多是一年生或多年生植物, 两年生的很少。许多重要的杂草只属于为数不多的几个科, 而且大多是进化上比较高等的科^[80](表 1)。

表 1 主要杂草科名及在北美各科所含的物种数
(Thomas^[80])

科名	北美物种数
菊科(Compositae)	112
禾本科(Gramineae)	65
十字花科(Cruciferae)	62
唇形科(Labiatae)	60
豆科(Leguminosae)	54
石竹科(Caryophyllaceae)	37
玄参科(Scrophulariaceae)	30

同一地区不同景观单元上分布的杂草种类也不相同, 指示着不同的人类活动。例如在中国北方农田常出现的杂草有: 打碗花(*Calystegia hederacea*)、马齿苋(*Portulaca oleracea*)、马唐(*Digitaria sanguinalis*)、稗(*Echinochloa crusgalli*)、牛筋草(*Eleusine indica*)、鸭舌草(*Monochoria vaginalis*)、狗尾草(*Setaria viridis*)和鼬瓣花(*Galeopsis bifida*); 村庄附近常见的杂草有: 繁缕

(*Stellaria media*)、荨麻(*Urtica dioica*)、荠菜(*Capsella bursa-pastoris*)、藜(*Chenopodium album*)、扁蓄(*Polygonum aviculare*)、大车前(*P. major*)、蒲公英(*Taraxacum officinale*)和蒺藜(*Tribulus terrestris*)。Forman等人^[81]把这些在人类定居地分布的种类称为村庄种。

放牧对草原的影响主要表现在两个方面：一是牲畜对植物的过分践踏和反复采食，使某些不耐践踏和适口性好的植物种类减少，甚至消失。二是粪便引起土壤变化，使喜氮植物大量繁盛。在放牧地常见的植物种类是车前(*P. depressa*)、白三叶草(*Trifolium sp.*)、卷耳、蒲公英(*Taraxacum sp.*)、皱叶酸模(*Rumex crispus*)、冷蒿(*Artemisia frigida*)、星毛委陵菜(*Potentilla acaulis*)、寸草苔(*Carex duriuscula*)、虎尾草(*Chloris virgata Swartz*)、瓣蕊唐松草(*Thalictrum petaloideum*)、狭叶柴胡(*Bupleurum scorzonrifolium*)、糙隐子草(*Cleistogenes spuarrosa*)、小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)、苣荬菜(*Sonchus brachyotus*)、鼬瓣花(*Galeopsis bifida*)和蒺藜，这些物种的种群密度随着牧压的增大而增加，可以作为一定牧压梯度范围内草地退化的指示植物。

草原地区最常见的植物还有杂类草，它不同于杂草，它是指除禾本科、莎草科(*Cyperaceae*)和灯心草科 *Juncaceae* 以外的多年生双子叶草本植物。

哪些伴人植物花粉是我们易于从沉积物中提取和识别的呢？

栽培作物(如玉米、稻、麦和荞麦等)一般以其较大的个体形态和较高的花粉产量在沉积物中出现，可作为人类从事农作的显著标志^[14,57,82~84]。

杂草花粉在指示人类活动时就比较复杂。车前、豚草、酸模、苍耳(*Xanthium*)都是风媒植物，花粉产量高，扩散性好，它们在沉积物中比较容易提取和识别，是较好的人类活动指示体；Thomas^[80]列出的7个科(表1)的杂草花粉也有比较易于辨认的花粉形态，它们在森林区大量出现可作为人类活动的标志之一；但在草原区，这7个科也是草原常见甚至是优势成分，应用它们分析和解释人类活动时要特别谨慎。一些虫媒花粉，如猪殃殃(*Galium*)，百脉根(*Lotus*)来自当地植被，是较好的人类活动指示体。在中国南方，芒萁(*Dicranopteris*)孢子的增加与稻作农业和人口增长有密切的联系^[85]。

由于栽培禾本科花粉与杂草禾本科花粉的区别比较困难，Andersen^[86]进行了详细研究后，提出可利用花粉孔环的直径和外壁雕纹及花粉粒的大小等特征来进行区分，并指出扫描电子显微镜对禾本科花粉的

鉴别很有帮助；杂草禾本科花粉以其较小的个体和孔环直径及多变的雕纹与栽培禾本科花粉相区别。

3 人类活动方式与孢粉指示体

人类活动主要有狩猎、采集、放牧、用火、耕作、毁林、植树造林、灌溉、排污和城市化等。它们对生态系统的影响主要使生物栖息地丧失或转移，使土壤沉积物和水中的营养物质发生改变。不同地区或同一地区不同时期的人类活动方式是不同的，对自然环境的影响也有所差异。

森林区最常见的人类活动有伐木、狩猎和采集、定居和耕作等。不同方式的人类活动影响下的植物群落有很大不同，孢粉谱也表现出完全不同的特征。Behre^[14]和Hicks^[87]揭示了欧洲北方森林区定居地、放牧场、作物种植地、撂荒地、人工草场和天然草甸的孢粉谱特征，指出森林区的定居地和牧场都有比较高的乔木花粉含量；而耕地和人工草场的乔木花粉则比较低。这些研究结果对其他地区人类活动的研究很有参考价值(表2)。

在森林区定居地，人类只对森林进行了局部清除，森林植被和村庄杂草是定居地孢粉谱的主要贡献者，因此定居地的乔木花粉 AP 值高，伴人杂草植物花粉种类丰富，主要孢粉类型有车前、荨麻、酸模、禾本科、飞廉(*Carduus*)、石竹科、扁蓄、蒿、藜科、马齿苋、豚草、毛茛、车轴草(*Trifolium repens*)、十字花科等；在森林牧场，区域性的森林也只被局部清除，林下草本植物开始生长繁盛，受放牧影响的喜氮、耐践踏的植物出现，因此森林牧场的孢粉记录具有乔木花粉 AP 值高、喜阳耐践踏的植物花粉禾本科、蒲公英、蒺藜、酸模、扁蓄和林下植物悬钩子(*Rubus*)花粉、蕨(*Pteridium aquilinum*)孢子常见的特征。

森林区的耕地和人工草场则由于大量种植了草本植物，使得草本花粉含量超过了乔木花粉含量，AP 值变低。耕作活动可分为刀耕火种和精耕细作两类。刀耕火种的方式比较粗放，其孢粉谱特征表现为某些乔木花粉减少，草本花粉的含量适中。精耕细作的孢粉谱特征则是多种乔木花粉显著减少，草本花粉的含量可高到 80%以上；栽培作物花粉(禾本科、荞麦、亚麻)含量比较高，杂草植物花粉种类丰富也是耕作活动的主要标志。谷物(*Cereal*)、荞麦(*Fagopyrum*)、亚麻(*Linum*)、柳叶菜(*Epilobium*)、酸模、蒲公英、扁蓄、马齿苋、豚草、大爪草属(*Spergula*)、水苏属

(*Stachys*)、十字花科、藜科、车轴草、猪殃殃、毛茛、石竹科、禾本科等花粉类型与史前人类的耕作活动密切相关。人工草场有很高比例的禾本科杂草和其他杂草植物花粉,常见的类型有:禾本科、毛茛科、酸模、长叶车前、蓼、蒲公英、车轴草、藜科、石竹科、莎草科。天然草甸以其丰富的莎草科花粉和木贼(*Equisetum*)孢子与人工草场相区别。

尽管农作和定居在草原区也比较常见,但放牧仍是草原区最主要的人类活动。放牧分为轻牧和重牧,轻牧对草原的影响不严重,重牧则使草地退化。围栏地是进行植被保护、禁止放牧的区域。草原区各种人类活动影响下的植被孢粉谱都以草本花粉占绝对优势,禾本科花粉在耕地和围栏地比较高,在放牧退化草地则比较低。在放牧地和定居地,有喜氮植物花

粉茄属、苍耳和荨麻出现(表 3)。

Hjelle^[76]研究了长期放牧和割草植被的孢粉谱特征,指出一些花粉类型,如禾本科、长叶车前、酸模、毛茛(*Ranunculus acris*)、紫菀、车轴草、风铃草(*Campanula*)在放牧场和割草场是常见的。但放牧场多有猪殃殃、薊(*Crisium*)、荨麻、莎草科等花粉类型;而割草场则有蓼、蔷薇科(*Rosaceae*)、伞形科花粉。由于放牧影响植物花粉的产量,所以与割草场相比,放牧场的背景花粉(如荨麻、猪殃殃和蒿)含量较高,而多样性则较低。Vorren^[88]发现有人类活动的地方常见的花粉类型为:栽培禾本科、龙爪草(*Spergula arvensis*)、酸模、菊科、毛茛、刺柏、荨麻、蒿、蓼、狼毒(*Stellaria*)、花葱(*Polemoninm caeruleum*)。

表 2 森林区不同景观单元的孢粉谱特征^{a)}

景观单元	孢粉谱特征	常见草本植物孢粉类型
定居地	1. 乔木花粉 AP 值高 2. 伴人杂草植物花粉种类丰富,喜氮植物花粉常见	<i>Urtica</i> , <i>Plantago major/media</i> , <i>Artemisia</i> , Gramineae, <i>Rumex acetosa</i> , <i>Taraxacum</i> , Chenopodiaceae, <i>Portulaca</i> , <i>Ambrosia</i> , <i>Carduus</i> , Caryophyllaceae, <i>Ranunculus</i> , <i>Polygonum aviculare</i> , <i>Trifolium</i> , Cruciferae, <i>Epilobium</i>
森林清除地上的放牧场	1. 乔木花粉 AP 值比较高 2. 喜氮耐践踏的草本植物花粉常见	Gramineae, <i>Rumex acetosa</i> , <i>Juniperus</i> , <i>Taraxacum</i> , <i>Tribulus</i> , Ranunculaceae, <i>Urtica</i> , <i>Rubus</i> , <i>Polygonum vulgare</i> , <i>Pteridium aquilinum</i>
耕地	1. 某些乔木花粉种类含量低 2. 栽培作物花粉含量比较高,杂草植物花粉种类丰富	Cereal, Gramineae, <i>Fagopyrum</i> , <i>Linum</i> , <i>Epilobium</i> , <i>Rumex acetosa</i> , <i>Taraxacum</i> , <i>Polygonum aviculare</i> , <i>Portulaca</i> , <i>Ambrosia</i> , <i>Spergula</i> , <i>Stachys</i> , Cruciferae, Chenopodiaceae, <i>Trifolium</i> , <i>Galium</i> , Ranunculaceae, Caryophyllaceae
人工草场	1. 乔木花粉含量低 2. 禾本科含量高,草本植物花粉种类丰富	Gramineae, Ranunculaceae, <i>Rumex acetosa</i> , <i>Plantago lanceolata</i> , <i>Achillea</i> , <i>Taraxacum</i> , <i>Trifolium</i> , Chenopodiaceae, Caryophyllaceae, Cyperaceae
天然草甸	1. 乔木花粉含量低 2. 高比例的禾本科、莎草科花粉和木贼孢子	Gramineae, Cyperaceae, <i>Equisetum</i> , <i>Filipendula</i> , <i>Thalictrum</i> , Ranunculaceae, Cruciferae, <i>Polygonum</i>

a) 根据 Birks 等人^[9], Behre^[14]的研究结果整理

表 3 草原区不同景观单元的孢粉谱特征^{a)}

景观单元	孢粉谱特征	常见草本植物孢粉类型
定居地	1. 禾本科杂草植物花粉含量比较高 2. 伴人杂草植物花粉种类丰富,喜氮植物花粉常见	Gramineae, <i>Urtica</i> , <i>Plantago major/media</i> , <i>Artemisia</i> , <i>Rumex acetosa</i> , <i>Taraxacum</i> , <i>Xanthium</i> , Chenopodiaceae/Amaranthaceae, <i>Portulaca</i> , Caryophyllaceae, <i>Ranunculus</i> , <i>Polygonum aviculare</i> , <i>Trifolium</i> , Cruciferae, <i>Epilobium</i> , Solanaceae, <i>Humulus</i> , <i>Tribulus</i> , Compositae
耕地	1. 栽培作物花粉含量高 2. 伴人杂草植物花粉种类丰富	Cereal, <i>Fagopyrum</i> , <i>Linum</i> , <i>Tribulus</i> , <i>Convolvulus</i> , <i>Epilobium</i> , <i>Rumex acetosa</i> , <i>Taraxacum</i> , <i>Polygonum aviculare</i> , <i>Portulaca</i> , Cruciferae, Chenopodiaceae, <i>Trifolium</i> , <i>Galium</i> , Ranunculaceae, Caryophyllaceae, Compositae
退化草原(重牧)	1. 蒿属和藜科花粉含量高 2. 杂类草花粉含量低,孢粉丰富度低	<i>Artemisia</i> , Chenopodiaceae, <i>Plantago major/media</i> , <i>Taraxacum</i> , <i>Tribulus</i> , <i>Potentilla</i>
牧场(轻牧)	1. 蒿属花粉含量比较高,杂类草花粉种类丰富 2. 伴人杂草植物花粉种类丰富,喜氮植物花粉常见	<i>Artemisia</i> , <i>Urtica</i> , <i>Galium</i> , Gramineae, Compositae, Ranunculaceae, <i>Rumex acetosa</i> , <i>Plantago lanceolata</i> , <i>Achillea</i> , <i>Taraxacum</i> , <i>Aster</i> , <i>Crisium</i> , <i>Trifolium</i> , <i>Potentilla</i> , Chenopodiaceae, Caryophyllaceae, Cyperaceae, <i>Galeopsis</i> , <i>Solanum</i> , <i>Cerastium</i> , <i>Rosaceae</i> , Umbelliferae
天然草原(围栏无牧)	1. 禾本科花粉含量高 2. 杂类草花粉种类丰富	Gramineae, Cyperaceae, <i>Thalictrum</i> , Ranunculaceae, Cruciferae, <i>Polygonum</i> , Compositae, <i>Rosaceae</i> , Umbelliferae, Caryophyllaceae, <i>Scutellaria</i>

a) 据Hjelle^[76]资料和作者工作整理

4 受人类活动影响的植被花粉谱模式

在森林区, 史前人类对植被影响最显著的方式是毁林开荒种植作物, 经过一段时间后, 土地肥力下降, 不再适宜农作, 只得弃耕, 致使杂草丛生. 弃耕后杂草的覆盖为原有植被的恢复创造了条件, 它是耕作者已移往它处时的一个可辨认阶段^[89]. 以温带森林区为例, 孢粉谱的变化可分 5 个明显的阶段(图 1), 反映出古代人类毁林开荒→农作→弃耕→植被恢复的生态过程.

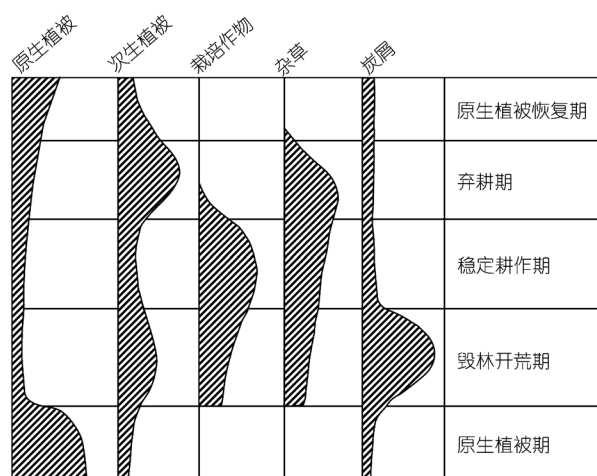


图 1 森林区毁林开荒影响下的花粉谱变化模式

(i) 原生植被期. 竞争力强的比较耐荫树种花粉——椴、云杉(*Picea*)、槭(*Acer*)、栎、桦、山毛榉、鹅耳枥(*Carpinus*)和榆的含量比较高, 表明人类对原生植被扰动较小.

(ii) 毁林开荒期. 次生林松、桦、和榛花粉及林下草本植物花粉蒿、地榆(*Sanguisorba*)、唐松草(*Thalictrum*)和蕨类孢子增加, 原生植被花粉减少. 最重要的是栽培作物花粉和杂草花粉出现并增加. 杂草花粉常见有: 车前、葎草等.

(iii) 稳定耕作期. 相对集中的耕作, 栽培作物花粉和伴人杂草花粉含量显著增加.

(iv) 弃耕期. 栽培作物花粉减少, 大量的杂草花粉出现. 但杂草很快减少, 次生林花粉增加.

(v) 植被恢复期. 次生林成分减少, 而椴、槭、栎、桦、榆花粉随着森林的再生而增加.

在草原区, 放牧是主要的人类活动方式. 不同放

牧强度影响下的植物群落成分、结构是有差异的, 孢粉谱的特征也有所不同. 主要有 3 个阶段(图 2):

(i) 无牧阶段. 植被较少受破坏, 孢粉谱以种类繁多的草本花粉为主, 禾本科花粉含量较高, 杂类草花粉很丰富.

(ii) 轻牧阶段. 适度放牧和践踏, 伴人杂草植物花粉和草原优势植物花粉都有发现. 常有喜氮植物花粉出现.

(iii) 重牧阶段. 过度的放牧, 导致草地退化. 主要以蒿属和藜科花粉为主, 其他草本植物花粉的种类和含量都很低.

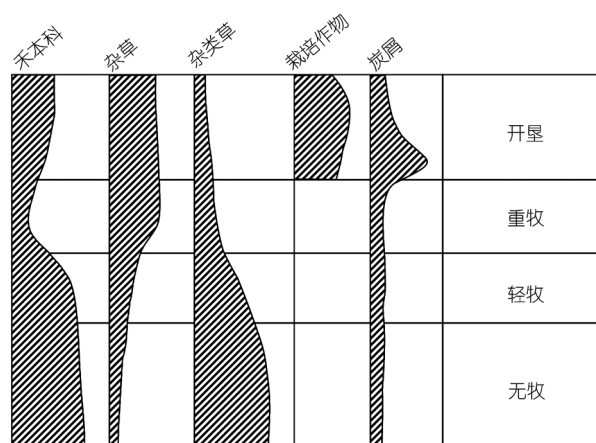


图 2 草原区放牧和开垦影响下的花粉谱变化模式

草原区农耕活动影响下, 孢粉谱表现出栽培作物花粉显著增加, 杂草花粉种类丰富的特征.

需要指出的是, 尽管不同地区人类活动对植被破坏的范围、程度及持续时间的长短不尽相同, 使得各个地方的孢粉谱有其特点, 但是, 相同方式的人类活动在不同地方引起的孢粉变化趋势却有相似性. 比如, 在不同地方的森林区, 当人类毁林开荒、进行农耕活动时都会出现乔木花粉大量减少、栽培作物花粉和杂草花粉显著增加的现象(图 1, 2).

5 孢粉记录的时空尺度与人类活动的识别

应用孢粉学研究人类活动对植被影响时强调高精度时空分辨率有着重要的意义. 高精度的空间分辨率不仅有助于反映植被景观的复杂性, 更重要的是能揭示出人类活动对景观的干扰作用; 高精度时间分辨率能完整记录短时间尺度的植被变化, 避免

遗漏一些人类活动事件。

靠近考古遗址点的湖泊和泥炭沉积物是进行人类活动研究的最理想材料。因为湖泊和泥炭沉积一般都是连续的, 沉积速率也比较高, 它们能很好记录斑块状的人类扰动。考古地点的孢粉分析尽管存在花粉来源的不确定性, 但只要做细致的工作, 它对研究过去人类活动仍是极有意义的。在一个遗址的不同位置, 孢粉组合可能存在明显的差异。因而在多个地点(如灰坑、房址的居住面及各种文化遗物——用于储存食物的容器和加工食物的磨盘、磨棒)进行样品采集, 使结果能够互相参证, 对正确解释考古地点的孢粉数据是有帮助的^[90]。考古地点的孢粉分析应当更加注意杂草和栽培作物花粉。草本花粉的大量出现要考虑到人类的耕作和放牧活动可能把草本植物花粉带到遗址中的因素; 乔木花粉的减少要考虑到人类的定居和农作常伴随着森林的清除活动。

5.1 时间分辨率

有两个因素决定时间分辨率: 沉积物的沉积速率和剖面的年代测定。沼泽湿地、湖泊及一些小型洼地由于沉积连续和沉积速率比较高, 是进行高精度时间分辨率古生态学研究的理想材料。在一些干旱、半干旱地区, 湖泊、泥炭沉积比较难于寻找, 而冲积物、洞穴堆积、风积物、冰川堆积等快速堆积比较常见。如果这些不同地点的快速堆积物能够串成一个比较长的时间序列, 那么它们也可能提供类似于连续沉积的记录。精确的年代标尺是能否准确揭示过去人类活动的关键。选用植物大炭屑、植物残体和孢粉浓缩物测年能得到比沉积物全样更加精确的年代^[91~93]。

取样的间距太大会降低时间分辨率。太低的时间分辨率可能遗漏一些人类活动事件。人类干扰引起的植被演替, 一般需要几十年至上百年的时间, 反映在湖相或泥炭沉积物上, 一般只有几厘米, 甚至更少。Turner等人^[94]使用 1 mm 间隔取样, 揭示了在 1 cm 取样时无法辨别出的人类活动对植被的扰动过程。尽管高精度分辨率取样困难, 但它对了解植被演替的生态过程和人类活动对植被的影响提供了翔实的古生态学证据^[95~97]。

如果一个地区的历史文献资料和图件很系统详细, 可以据此重建特定时土地利用、土地覆盖状况, 使时间分辨率大大提高^[98]。

5.2 空间分辨率

生态空间是一个多尺度的等级系统。气候变化对植被的影响范围较大, 具有同时性; 而人类活动的影响则是地方性的, 具有随机性, 可以在不同时间不同地点上发生。以往孢粉学研究比较注重植被的区域变化, 重视区域成分的孢粉(主要是乔木花粉)解释, 而往往忽略地方性的成分。然而植被分布是复杂多样的, 尤其是人类活动的干扰使得植被景观异质性增强, 同一区域不同地点的孢粉谱可能表现出明显的差异。Smith等人^[46]在一个区域选取多个地点进行孢粉分析, 结果表明孢粉成分的变化反映了植被景观的复杂多样性, 尤其是赤杨和炭屑含量在不同地点有明显的差异。Edwards等人^[99]在苏格兰南部的Aros沼泽地的边缘和中央分别取样进行孢粉分析, 结果发现: 边缘钻孔有丰富的栽培禾本科花粉(cereal-type pollen), 而在沼泽地中央钻孔却一直没有栽培禾本科花粉出现, 这可能是由于栽培禾本科花粉有较近的传播距离缘故。Whittington等人^[100]在一个小湖周边的 4 个地点取样进行孢粉分析后认为, 湖边缘钻孔有大量栽培禾本科花粉, 而湖中央钻孔栽培禾本科花粉较少; 但湖中央和湖边缘都有大量的伴人杂草植物花粉——大麻(*Cannabis*)、荨麻、酸模、蓟。Janssen^[101]的研究表明: 靠近湖泊边缘的取样点地方性花粉成分丰富, 湖泊中央的取样点则以区域花粉类型占优势, 还有一些远距离传播类型, 地方性成分以水生植物花粉为主。Tolonen^[102]则指出: 草本花粉在湖中央钻孔比与湖边缘钻孔有更好的代表性。

一个沉积盆地的孢粉谱主要是由区域、景观和局部各种来源的成分组成^[103,104]。区域成分主要是风和水流搬运来的孢粉; 景观成分主要是当地优势植物产生的孢粉; 局部来源的成分主要是特殊生境植物(如水生植物)产生的孢粉。孢粉的产量和传播特性、植被分布格局、湖盆的大小及封闭性是影响湖盆孢粉谱特征的主要因素^[105]。在孢粉谱图的解读中, 区分出区域、景观和局部不同层次的孢粉类型, 对重建呈镶嵌格局的植被分布模式, 了解植被空间分布的复杂性有着重要意义。区域孢粉成分是气候的指示体; 景观和特殊生境的孢粉类型则更多反映人类活动和地貌的影响。人类干扰可导致景观完全替代, 即使在气候不变的情况下, 孢粉成分也会发生改变。

一个区域包含着许多景观类型, 并呈相互嵌合的状态^[81]。一个地点的孢粉谱是多个植物群落的集合体。孢粉组合的复杂性反映了景观的多样性: 如果

植被景观单一,孢粉组成相对比较简单,但如果景观类型多样,则孢粉成分比较复杂.特殊生境的孢粉类型更多地反映当地局部环境.

一个沉积盆地的孢粉谱所代表的植被区域有多大,即孢粉源区的大小对了解这个地区人类活动的规模和强度有着重要意义. Jackson等人^[106,107], Prentice^[108,109], Sugita^[110,111]的研究表明,在比较郁闭的森林区,半径为2 m的小水泡相关源区是半径为50~100 m的植被区域;半径为50 m的小型湖泊相关源区是半径为300~400 m植被区域;半径为250 m的中型湖泊的相关源区为600~800 m的植被区域;当湖泊的半径加大到750 m时,孢粉成分主要来源于区域植被.

因此,研究过去人类活动时,沉积盆地的选择需要考虑面积的大小,以保证局地孢粉来源.敏感记录下附近的人类活动;成层的高分辨率的湖相记录能保证测年的精确性;取样点应当距离史前的村落和耕地等遗址点较近.

6 重要提示

用孢粉资料进行人类活动研究时,以下几个方面是值得特别重视的:

(i) 孢粉记录与其他生物指标相结合.植物大化石(叶,果实,种子)是对孢粉资料最好的补充.由于它们一般都能鉴定到种,对准确了解环境和人类活动是极有帮助的.炭屑是反映人类活动的最重要的代用指标之一.人类为了定居、取暖和耕作常对周围的植被进行清除,清除的方式主要是火烧和砍伐.火烧后常有大量的炭屑(包括大炭屑和微炭屑)出现,它是判别人类活动的一个重要标志.大炭屑能精确鉴定到种,可反映当地的温度降水状况;微炭屑的浓度和通量常与人类为定居、耕作焚烧植被有关.人类用火与天然火的沉积记录有所不同.人类用火除有炭屑峰值外,一般会出现有伴人植物花粉(杂草或栽培作物花粉).碳、氮同位素的变化常与人类放牧和耕作导致土壤特性发生变化密切相关;沉积速率的显著增加则与土壤侵蚀作用有关.

(ii) 重要种类的孢粉精确鉴定.在光学显微镜下只有少数孢粉能够鉴定到种,例如,车前的不同种(*P. major*/*P. media*, *P. lanceolata*);大部分的孢粉类型能够鉴定到属,例如,唐松草、景天(*Sedum*)、繁缕(*Stellaria*)、赤杨、桦;一些孢粉类型只能鉴定到科,例如,十字花科、莎草科;而有些孢粉类型甚至科之

间都难于区分,例如,苋科(*Amaranthaceae*)和藜科,柏科(*Cupressaceae*)和杉科(*Taxodiaceae*).禾本科花粉一般能够区分出栽培和杂草类.化石孢粉的保存状况、现代孢粉参考片的质量、孢粉类型之间的相似性程度都影响孢粉能否鉴定到种.采用电子显微镜对特殊种类的孢粉进行精确鉴定是重要的,但难于进行孢粉的数量统计.

(iii) 加大孢粉的统计数量.由于杂草含量不高,常规的统计量会遗漏很多杂草花粉.为进行人类活动指示体的研究,在森林和草原区所需的花粉统计量要求是不同的.热带亚热带森林区一般在1000粒以上,温带草原区在500粒以上为宜.

(iv) 重视孢粉源区和孢粉对植被的代表性研究.由于不同植物的孢粉产量、扩散能力和保存状况的差异,孢粉与植被的关系是十分复杂的,而人类活动将加剧这一复杂性.

(v) 在提高取样分辨率的同时,测年精度要提高.寻找炭屑和植物残体及挑选比较纯净的孢粉进行放射性碳测年,都可减少碳库效应或硬水效应造成的误差,提高测年精度.

(vi) 当出现孢粉学和其他生态学证据缺乏考古资料印证的情况时,既要考虑对孢粉资料进行检验,也要考虑考古资料可能的局限性,例如,考古发掘的规模和数量限制,是否会导致孢粉学证据和考古资料不一致?

7 结语与展望

正如我们在本综述中所讨论的,重视人类活动影响下的孢粉记录,使之与生态学、考古学结合在一起阐述人类活动的环境效应是近年来环境演变研究的一个重要方面^[112], IGBP的BIOME300计划^[113]和IHOPE (Integrated History and Future of People on Earth)^[114]就是例子.孢粉资料只能直接推断植被,而植被变化的驱动力有气候、进化和人类活动等.与气候变化一样,人类活动可以使植被发生根本性的改变,尤其是新石器以来,随着人口的增加和人类活动的加剧,人类对植被的扰动越来越强.那种用孢粉资料来直接推断气候,再用气候来解释植被的循环论证将随着人类活动研究的深入而得到修正.

在人类活动的孢粉指示体研究中,伴人植物花粉的研究是一个重要的方面.此外,取样的时空分辨率和特殊花粉种类的数量变化也是十分重要.基于

不同文化生态区的孢粉指示体的提取和定量分析, 遴选反映人类活动特征的生态指示体, 建立历史景观复原的生态背景, 阐述人类活动影响下生态系统

和景观结构、功能变化过程, 揭示出气候、植被和人类活动之间相互作用的机制, 将对全球变化的研究是一个重要贡献。

致谢 本文写作得益于作者与很多同行, 尤其是与牛津大学 K. J. Willis 教授和她的研究组进行的富有启发性的讨论, 两位匿名审稿人提出宝贵意见和建议, 孙小珊协助清绘图件, 在此一并致谢。

参考文献

- Webb III T, Bryson R A. Late and postglacial climate change in the Northern Midwest, USA: Quantitative estimates derived from fossil pollen spectra by multivariate statistic analysis. *Quat Res*, 1972, 2(1): 70—115
- Huntley B, Prentice I C. July temperatures in Europe from pollen data, 6000 years before present. *Science*, 1988, 241(4866): 687—690^[DOI]
- Prentice I C, Guiot J, Huntley B, et al. Reconstructing biomes from palaeoecological data: A general method and its application to European pollen data at 0 and 6 ka. *Clim Dynam*, 1996, 12(12): 185—194^[DOI]
- 孙湘君, 王奉瑜, 宋长青. 中国北方部分科属花粉——气候响应面分析. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 1996, 26(5): 431—436
- 吕厚远, 吴乃琴, 宋长青. 古气候参数定量估算研究. 见: 刘嘉麒, 袁宝印, 编. *中国第四纪地质与环境*. 北京: 海洋出版社, 1997. 428—439
- 宋长青, 吕厚远, 孙湘君. 中国北方花粉——气候因子转换函数建立及应用. *科学通报*, 1997, 42(20): 2182—2186
- Edwards K J, MacDonald G M. Holocene palynology: II Human influence and vegetation change. *Prog Phys Geog*, 1991, 15(4): 364—391^[DOI]
- Andrieu-Ponel V, Ponel P, Bruneton H, et al. Palaeoenvironments and cultural landscapes of the last 2000 years reconstructed from pollen and Coleopteran records in the Lower Rhone Valley, southern France. *Holocene*, 2000, 10(3): 341—355^[DOI]
- Birks H H, Birks H J B, Kaland P E, et al, eds. *The Cultural Landscape—Past, Present and Future*. Cambridge: Cambridge University Press, 1988
- Hannon G E, Bradshaw R H W. Impacts and timing of the first human settlement on vegetation of the Faroe Islands. *Quat Res*, 2000, 54(3): 404—413^[DOI]
- Firbas F. Der Pollenanalytische Nachweis des Getreidebaus. *Zeitschrift für Botanik*, 1937, 31: 447—448
- Iversen J. The influence of prehistoric man on vegetation. *Dan Geol Under, Ser IV*, 1949, 3(6): 1—25
- Dimbleby G W. *The Palynology of Archaeological Sites*. London: Academic Press, 1985
- Behre K-E. *Anthropogenic Indicators in Pollen Diagram*. Rotterdam: A A Balkema, 1986
- Willis K J, Gillson L, Brncic T M. How “Virgin” is virgin rainforest? *Science*, 2004, 304(5669): 402—403^[DOI]
- William F R. How did humans first alter global climate? *Sci Am*, 2005, 34: 34—41
- Williams M. *Deforesting the Earth: from Prehistory to Global Crisis*. Chicago: University of Chicago Press, 2003. 12—13
- Puhe J, Ulrich B. *Global Climate Change and Human Impacts on Forest Ecosystem: Postglacial Development, Present Situation, and Future Trends in Central Europe*. Berlin: Springer-Verlag, 2001. 69—72
- Gascon C, Williamson G B, da Fonseca G A B. Ecology-Receding forest edges and vanishing reserves. *Science*, 2000, 288(5470): 1356—1358^[DOI]
- Achard F, Eva H D, Stibig H J, et al. Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests. *Science*, 2002, 297(5583): 999—1002^[DOI]
- 林海. 中国全球变化研究的回顾与展望. *地学前缘*, 2002, 19(1): 19—25
- Crutzen P J, Stormer E F. The “Anthropogene”. *IGBP NewsLetter*, 2000, 41: 17—18
- 刘东生. 开展“人类世”环境研究, 做新时代地学的开拓者——纪念黄汲清先生的地学创新精神. *第四纪研究*, 2004, 24(4): 369—378
- Berglund B E. Vegetation history and human influence in south Scandinavia during prehistoric time. *Oikos*, 1969, 12(Suppl): 9—28
- Kvamme M. Pollen analytical studies of mountain summer-farming in western Norway. In: Birks H H, Birks H J B, Kaland P E, et al, eds. *The Cultural Landscape—Past, Present and Future*. Cambridge: Cambridge University Press, 1988. 348—367
- Kaland P E. The origin and Management of Norwegian coastal heaths as reflected by pollen analysis. In: Behre K-E, ed. *Anthropogenic Indicators in Pollen Diagram*. Rotterdam: A A Balkema, 1986. 19—36
- Hicks S. Pollen evidence of localized impact on the vegetation of northernmost Finland by hunter-gatherers. *Veg Hist Archaeobot*, 1993, 2(3): 137—144^[DOI]
- Carpelan C, Hicks S. Ancient Saami in Finnish Lapland and their impact on the forest vegetation. In: Butlin R, Roberts N, eds. *Eco-*

- logical Relations in Historical Times. Oxford: Blackwell, 1995. 195—205
- 29 Fredskild B. Agriculture in a marginal area-south Greenland from the Norse Landnam (985AD) to the present (1985 AD). In: Birks H H, Birks H J B, Kaland P E, et al, eds. The Cultural Landscape—Past, Present and Future. Cambridge: Cambridge University Press, 1988. 381—393
- 30 Davis O K, Turner R M. Palynological evidence for historic expansion of juniper and desert shrub in Arizona, USA. *Rev Palaeobot Palynol*, 1986, 49(3-4): 177—193^[DOI]
- 31 McAndrews J H. Human disturbance of North American forests and grassland: The fossil pollen record. In: Huntley B, Webb III T, eds. *Vegetation History*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1988. 673—697
- 32 McAndrews J H, Boyko-Diakonow M. Pollen analysis of varied sediment at Crawford Lake, Ontario: Evidence of Indian and European farming. In: Fulton R J, eds. *Geology of Canada and Greenland*. Ottawa: Geological Survey of Canada, 1989. 528—530
- 33 Elis S A. *Quaternary Insects and Their Environments*. Washington: Smithsonian Institution Press, 1994
- 34 Sugita S, Gaillard M-J, Brostrom A. Landscape openness and pollen records: A simulation approach. *Holocene*, 1999, 9(4): 409—421^[DOI]
- 35 Nielsn A B. Pollen based quantitative estimation of land cover. Doctor Dissertation. Copenhagen: Copenhagen University, 2003
- 36 Brostrom A, Sugita S, Gaillard M -J. Pollen productivity estimates for the reconstruction of past vegetation cover in the cultural landscape of southern Sweden. *Holocene*, 2004, 14(3): 368—381^[DOI]
- 37 Berglund B E. Human impact and climate change-synchronous events and a causal link? *Quat Int*, 2003, 105: 7—12^[DOI]
- 38 Anderson E. *Plants, Man and Life*. Boston: Little Brown & Company, 1952. 16
- 39 周昆叔. 中国环境考古的回顾与展望. 见: 周昆叔, 宋豫秦, 主编. *环境考古研究(第二辑)*. 北京: 科学出版社, 2000
- 40 孔昭震, 杜乃秋. 内蒙古几个考古地点的孢粉分析在古植被和古气候上的意义. *植物生态学与地植物学丛刊*, 1981, 5(3): 193—202
- 41 施雅风, 张丕远, 孔昭震, 等. *中国历史气候变化*. 济南: 山东科学出版社, 1996
- 42 Liu K -B. Quaternary history of the temperate forests of China. *Quat Sci Rev*, 1988, 7(1): 1—20^[DOI]
- 43 Ren G Y. Decline of the mid- to late Holocene forests in China: climatic change or human impact? *J Quat Sci*, 2000, 15(3): 273—281^[DOI]
- 44 Li X Q, Dodson J, Zhou X Y, et al. Early cultivated wheat and broadening of agriculture in Neolithic China. *Holocene*, 2007, 17(5): 555—560^[DOI]
- 45 Parker A G, Goudie A S, Anderson D E, et al. A review of the mid-Holocene elm decline in the British Isles. *Prog Phys Geog*, 2002, 26(1): 1—45^[DOI]
- 46 Smith A G, Cloutman E W. Reconstruction of vegetation history in three dimensions at Waun-Fignen-Felen, an upland site in South Wales. *Philosoph Trans Prehist Soc Lond*, 1988, B322: 159—219^[DOI]
- 47 Hirons K R, Edwards K J. Events at and around the first and second *Ulmus* declines: Palaeoecological investigations in Co. Tyrone, Northern Ireland. *New Phytol*, 1986, 104(1): 131—153^[DOI]
- 48 Troels-Smith J I. mistletoe and elm: Climatic indicators—fodder plants: A contribution to the interpretation of the pollen zone border VII-VIII. *Danmarks Geologiske Undersogelse II, Series IV*, 1960. 1—32
- 49 Rasmussen P. Leaf-foddering of livestock in the Neolithic: Archaeobotanical evidence from Weier, Switzerland. *J Danish Archaeo*, 1989, 8: 51—71
- 50 Heybroek H M. Why bother about the elm? In: Stricklen M B, Sherald J L, eds. *Dutch Elm Disease Research: Cellular and Molecular Approaches*. Springer-Verlag, 1993
- 51 Scaife R G. The elm decline in the pollen record of South East England and its relationship to early agriculture. In: Jones M K, ed. *Archaeology and the Flora of the British Isles*. Oxford: Oxford University Committee for Archaeology, Monograph, 1988. 21—33
- 52 Whittington G, Edwards K J, Caseldine C J. Late- and postglacial pollen-analytical and environmental data from a near-coastal site in northeast Fife, Scotland. *Rev Palaeobot Palynol*, 1991, 68(1-2): 65—85^[DOI]
- 53 Edwards K J. A Mesolithic of the Western and Northern Isles of Scotland? Evidence from pollen and charcoal. In: Pollard T, Morrison A, eds. *The Early Prehistory of Scotland*. Edinburgh: Edinburgh University Press, 1996. 23—28
- 54 Oosting H J. *The Study of Plant Communities*. San Francisco: W H Freeman and Company, 1956
- 55 李文漪. *中国第四纪植被与环境*. 北京: 科学出版社, 1998. 8—16
- 56 Smith A G, Whittle A, Cloutman E W, et al. Mesolithic and Neolithic activity and environmental impact on the south-east fen-edge in Cambridgeshire. *Proc Prehist Soc*, 1989, 55: 207—249
- 57 Delcourt P A, Delcourt H R, Criddlebaugh P A, et al. Holocene ethnobotanical and palaeoecological record of human impact on vegetation in the Little Tennessee River Valley, Tennessee. *Quat Res*, 1986, 25(3): 330—349^[DOI]
- 58 Smith A G. The influence of Mesolithic and Neolithic man on British vegetation. In: Walker D, West R G, eds. *Studies in the Vegetational History of the British Isles*. London: Cambridge University Press, 1970. 81—96

- 59 Chamber F M, Kelly R S, Price S-M. Development of the late-prehistoric cultural landscape in Upland Ardudwy, north-west Wales. In: Birks H H, Birks H J B, Kaland P E, et al. *The Cultural Landscape—Past, Present and Future*. Cambridge: Cambridge University Press, 1988
- 60 Edwards K J. Fire and the Scottish Mesolithic evidence from microscopic charcoal. In: Vermeersch P M, van Peer P, eds. *Contributions to the Mesolithic in Europe*. Leuven: Leuven University Press, 1990. 71—79
- 61 Caseldine C J, Maguire D J. Late-glacial/Early Flandrian vegetation change on Northern Dartmoor, South-West England. *J Biogeogr*, 1986, 13(3): 255—264 [\[DOI\]](#)
- 62 van Zant K L, Webb III T, Peterson G M, et al. Increased Cannabis/Humulus pollen, an indicator of European agriculture in Iowa. *Palynology*, 1979, 3: 227—233
- 63 van Zant K L. Late glacial and postglacial pollen and plant macrofossils from Lake West Okoboji, northwestern Iowa. *Quat Res*, 1979, 12(3): 358—380
- 64 Brugam R B. Pollen indicators of land-use change in southern Connecticut. *Quat Res*, 1978, 9(3): 349—362
- 65 Russell E W B, Davis R B, Anderson R S, et al. Recent centuries of vegetational change in the glaciated north-eastern United States. *J Ecol*, 1993, 81(4): 647—664 [\[DOI\]](#)
- 66 Peterson G M. Pollen spectra from surface sediments of lakes and ponds in Kentucky, Illinois and Missouri. *Am Mid Nat*, 1978, 100: 333—340
- 67 Webb III T, McAndrews J A. Corresponding patterns of contemporary pollen and vegetation in central North America. *Geol Soc Am Memoir*, 1976, 146: 267—299
- 68 Webb III T. Pre- and postsettlement pollen from a short core, Blackhawk Lake, west-central Iowa. *Proceed Iowa Academy Sci*, 1973, 80: 41—44
- 69 Aaby B. The cultural landscape as reflected in percentage and influx pollen diagrams from tow Danish ombrotropic mires. In: Birks H H, Birks H J B, Kaland P E, et al, eds. *The Cultural Landscape—Past, Present and Future*. Cambridge: Cambridge University Press, 1988. 209—228
- 70 Regnéll J. Vegetation and land use during 6000 years. Palaeoecology of the cultural landscape at two lake sites in southern Skane, Sweden. *Lundqua Thesis*, 1989, 27: 62
- 71 羊向东, 沈吉, Jones R T, 等. 云南洱海盆地早期人类活动的花粉证据. *科学通报*, 2005, 50(3): 238—245
- 72 Birks H J B, Line J M. The use of rarefaction analysis for estimating palynological richness from Quaternary pollen-analytical data. *Holocene*, 1992, 2(1): 1—10
- 73 Birks H J B, Gordon A D. *Numerical Methods in Quaternary Pollen Analysis*. London/Orlando: Academic Press, 1985
- 74 李宜垠. 西辽河流域古文明的生态背景及人类活动孢粉指示体研究. 博士后研究报告. 北京: 北京大学, 2001
- 75 Davis O K. Spores of dung fungus *Sporormiella*: Increased abundances in historic sediments and before Pleistocene megafaunal extinction. *Quat Res*, 1987, 28(2): 290—294 [\[DOI\]](#)
- 76 Hjellev K L. Modern pollen assemblages from mown and grazed vegetation types in western Norway. *Rev Palaeobot Palynol*, 1999, 107(1-2): 55—81 [\[DOI\]](#)
- 77 安树青. *生态学辞典*. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1994
- 78 强盛. *杂草学*. 北京: 中国农业出版社, 2001
- 79 李扬汉. *中国杂草志*. 北京: 中国农业出版社, 1998
- 80 Thomas A H. *杂草生物学*. 姚璧君, 译. 北京: 科学出版社, 1983
- 81 Forman R, Godron M. *景观生态学*. 肖笃宁, 张启德, 赵羿, 等译. 北京: 科学出版社, 1990
- 82 Pope K O, Pohl M E D, Jones J G, et al. Origin and environmental setting of ancient agriculture in the lowlands of Mesoamerica. *Science*, 2001, 292(5520): 1370—1373 [\[DOI\]](#)
- 83 Makohonienko M, Kitagawa H, Naruse T, et al. Late-Holocene natural and anthropogenic vegetation changes in the Dongbei Pingyuan (Manchurian Plain), northeastern China. *Quat Int* 2004, 123-125: 71—88 [\[DOI\]](#)
- 84 Li Y Y, Willis K J, Zhou L P, et al. The impact of ancient civilization on the northeastern Chinese landscape: Palaeoecological evidence from the Western Liaohe River Basin, Inner Mongolia. *Holocene*, 2006, 16(8): 1109—1121 [\[DOI\]](#)
- 85 郑卓, 邓韞, 张华, 等. 华南沿海热带-亚热带地区全新世环境变化与人类活动的关系. *第四纪研究*, 2004, 24(4): 387—393
- 86 Andersen S Th. Identification of wild grass and cereal pollen. *Danmarkes geologiske Undersogelse, Arbog*, 1978, 1979. 69—92
- 87 Hicks S. The representation of different farming practices in pollen diagrams from northern Finland. In: Birks H H, Birks H J B, Kaland P E, et al, eds. *The Cultural Landscape—Past, Present and Future*. Cambridge: Cambridge University Press, 1988. 189—207
- 88 Vorren K-D. The impact of early agriculture on the vegetation of Northern Norway—a discussion of anthropogenic indicators in

- biostratigraphical data. In: Behre K-E, ed. Anthropogenic Indicators in Pollen Diagram. Rotterdam: A A Balkema, 1986. 1—18
- 89 Chapman G P, Peat W E. 禾本科植物导论(包括竹子及禾谷类作物). 王彦荣, 译. 北京: 科学出版社, 1996
- 90 靳桂云, 孔昭宸. 孢粉分析在考古学中应用的回顾与展望. 中国社会科学院考古研究所编著: 21 世纪中国考古学与世界考古学. 北京: 中国社会科学出版社, 2002
- 91 Kilian M R, van der Plicht J, van Geel B, et al. Problematic ^{14}C -AMS dates of pollen concentrates from Lake Gosciarz(Poland). *Quat Int*, 2002, 88(1): 21—26^[DOI]
- 92 Newnham R M, Vandergose M J, Garnett M H, et al. Test of AMS ^{14}C dating of pollen concentrates using tephrochronology. *J Quat Sci*, 2007, 22(1): 37—51^[DOI]
- 93 李宜垠, 魏芳, 周力平. 泥炭样品的 AMS ^{14}C 年龄测定: 全样、植物残体和孢粉浓缩物. *第四纪研究*, 2007, 27(4): 499—506
- 94 Turner J, Peglar S M. Temporally-precise studies of vegetation history. In: Huntley B, Webb III T, eds. *Vegetation History*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1988. 753—757
- 95 Green D, Singh G, Polach H, et al. A fine resolution palaeoecology and palaeoclimatology from southeastern Australia. *J Ecol*, 1988, 76(3): 790—806^[DOI]
- 96 Green D G, Dolman G S. Fine resolution pollen analysis. *J Biogeogr*, 1988, 15: 685—701^[DOI]
- 97 Walker D. Vegetation's fourth dimension. *New Phytol*, 1982, 90(3): 419—429^[DOI]
- 98 Birks H J B. Fifty years of Quaternary pollen analysis in Fennoscandia 1954~2004. *Grana*, 2005, 44: 1—22^[DOI]
- 99 Edwards K J, McIntosh C J. Improving the detection rate of cereal-type pollen grains from *Ulmus* decline and earlier deposits from Scotland. *Pollen et Spores*, 1988, 30: 179—188
- 100 Whittington G. Palaeoecological investigations of multiple elm declines at a site in north Fife, Scotland. *J Biogeogr*, 1991, 18(1): 71—87^[DOI]
- 101 Janssen C R. Recent pollen spectra from the deciduous and coniferous-deciduous forest of northeastern Minnesota: A study in pollen dispersal. *Ecology*, 1966, 47(5): 804—825
- 102 Tolonen K. Charred particle analysis. In: Berglund B E, ed. *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palynology*. Chichester: John Wiley and Sons Ltd, 1986. 485—496
- 103 Bonny A P. Seasonal and annual variation over 5 years in contemporary airborne pollen trapped at a Cumbrian Lake. *J Ecol*, 1980, 68(2): 421—441^[DOI]
- 104 Pennington W. The origin of pollen in lake sediments: An enclosed Lake compared with one Receiving Inflow Streams. *New Phytol*, 1979, 83(1): 189—213
- 105 DeBusk G H. The distribution of pollen in the surface sediments of Lake Malawi, Africa, and the transport of pollen in large lakes. *Rev Palaeobot Palynol*, 1997, 97(1-2): 123—153^[DOI]
- 106 Jackson S T, Wong A. Using forest patchiness to determine pollen source areas of Closed-canopy pollen assemblages. *J Ecol*, 1994, 82(1): 88—98^[DOI]
- 107 Jackson S T, Lyford M E. Pollen dispersal models in quaternary plant ecology: Assumptions, parameters and prescriptions. *Bot Rev*, 1999, 65: 39—67^[DOI]
- 108 Prentice I C. Pollen representation, source area, and basin size: Towards a unified theory of pollen analysis. *Quat Res*, 1985, 23(1): 76—86^[DOI]
- 109 Prentice I C. Records of vegetation in time and space: The principles of pollen analysis. In: Huntley B, Webb III T, eds. *Vegetation History*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1988
- 110 Sugita S. Pollen representation of vegetation in Quaternary sediments: Theory and method in patchy vegetation. *J Ecol*, 1994, 82(4): 881—897^[DOI]
- 111 Sugita S. Theory of quantitative reconstruction of vegetation I: Pollen from large sites REVEALS regional vegetation composition. *Holocene*, 2007, 17(2): 229—241^[DOI]
- 112 Dearing J A. Human-environment interactions: Learning from the past. In: Costanza R, Graumlich L J, Steffen W, eds. *Sustainability or Collapse?* Cambridge: The MI Press, 2007. 19—37
- 113 Robert S T. BIOME300: Understanding the impacts of human activities on land cover over the past 300 years. *Glob Change News Lett*, 2000, 43: 2
- 114 Costanza R, Graumlich L, Steffen W, et al. Sustainability or collapse: What can we learn from integrating the history of humans and the rest of nature? *Ambio*, 2007, 36(7): 522—527^[DOI]