科学通报 2011 年 第 56 卷 第 11 期：841 ~ 849
论 文 www.scichina.com csb.scichina.com
《中国科学》杂志社
SCIENCE CHINA PRESS

中国东部暖温带低山丘陵区表土花粉对人类活动的指示意义

丁伟[①②], 庞瑞洺[①②], 许清海[①②*], 李月丛[①②], 曹现勇[①②]

① 河北师范大学资源与环境科学学院, 石家庄 050016;
② 河北省环境演变与生态建设实验室, 石家庄 050016
* 联系人, E-mail: xuqinghai@mail.hebtu.edu.cn

2010-10-11 收稿; 2010-12-23 接受
国家自然科学基金重点项目(40730103)、国家自然科学基金(40672107, 41071132)和河北省自然科学基金项目(D2008000186, D2009000300)资助

摘要 中国东部暖温带低山丘陵区 78 个表土样品花粉分析表明: 不同土地利用类型的孢粉组合存在显著差异. 果园与人工林地孢粉浓度高于耕地而低于荒地, 人类活动干扰强度越大, 花粉浓度越低. 以松属和栎属为主的乔木花粉含量在研究区内较为稳定, 耕地中草本花粉百分比高于荒地, 灌木花粉和蕨类孢子低于荒地. 农作物花粉含量在相应农田及附近较高, 依次向周围递减. 禾本科作物和十字花科花粉在农田中平均分别为 16.7%和 6.7%, 邻近荒地迅速降至 3%以下和不足 0.5%. 主坐标和聚类分析表明, 研究区内耕地与其他土地利用类型样品花粉组合差异明显, 低山丘陵区禾本科、藜科、蒿属、菊科、中华卷柏与人类活动密切相关, 其含量和在花粉组合中的排序对人类活动强度具有指示作用. 栽培作物、蒿属、藜科等的空间分布可以较好地反映自然因素和人类活动的变化, 海拔降低, 纬度南移, 禾本科作物和十字花科花粉增加, 蒿属和藜科花粉减少. 低山丘陵区花粉组合特征与历史时期平原区人类清除自然植被从事农业耕作的初始阶段相近, 可能对平原区人类活动初始阶段环境特征具有参考价值.

关键词
低山丘陵区
表土花粉
耕地
荒地
人类活动

孢粉是全球变化研究中一种较好的古环境代用指标, 对古气候重建及古植被模拟起着重要作用[1~3]. 而建立现代孢粉与现代植被及气候要素之间的关系一直是制约其模拟结果可信度的关键. 我国已对东亚、青藏高原和北方开展了大范围的现代表土花粉-植被-气候关系研究[4~11]. 上述研究尽量选择人类活动影响较小的自然植被, 这对建立花粉与自然植被和气候的关系无疑是重要的. 但预测未来气候和环境变化, 考虑自然变化规律和特征的同时, 还必须考虑人类活动对气候和环境的影响. 孢粉学研究也已从主要关注自然植被开始更多地关注人类活动影响下的植被变化, 如 Hjelle[12]对挪威西部人类活动影响下草地花粉组合特征研究, Court-Picon 等人[13,14]对法国阿尔卑斯山自然和人工扰动植被表土花粉的对比研究, Buttler 等人[15]对比利牛斯山人类活动影响程度不同草地的花粉组合特征研究, Liu 等人[16]对东亚不同植被盖度和不同退化程度草原花粉组合特征研究. 上述研究都揭示了人类活动影响下不同地点、不同植被类型的花粉组合特征, 并发现了一些对人类活动有指示意义的花粉类型. 但研究区范围较小, 不能揭示人类活动影响下区域植被的响应和变化. 邓韫等人[17]虽作了我国东部大范围尘土样品花粉分析, 发现人类活动区尘土花粉组合以草本为主, 但花粉组合与区域植被关系不密切.

人类活动对陆地生态系统影响的不同程度、不同阶段, 应有不同的花粉组合特征. 因此, 开展人工和

英文版见: Ding W, Pang R M, Xu Q H, et al. Surface pollen assemblages as indicators of human impact in the warm temperate hilly areas of eastern China. Chinese Sci Bull, 2011, 56, doi: 10.1007/s11434-011-4350-1

受人工强烈扰动植被花粉组合特征及其反映的人类活动强度研究, 对检测地层中人类活动的信息, 追索农业发生的证据和发展过程具有重要意义和作用.

目前人工和受人工强烈扰动植被花粉组合特征研究相对薄弱. 我国为世界农业起源地之一, 长久大规模的农垦和人类活动已很难找到未受人类活动扰动的自然生态系统. 而一些初步的研究已显示不同气候条件下, 人工和受人工强烈扰动的植被表现出一定的地带性特征, 如我国南方人工植被主要以稻作农业为主, 受人工强烈扰动后以马尾松(*Pinus massoniana*)和芒萁属(*Dicranopteris*)增多为特征[18,19]; 我国北方人工植被以小麦(*Triticum aestivum*)、玉米(*Zea mays*)为主, 人工强烈扰动后以油松(*Pinus tabulaeformis*)、蒿属(*Artemisia*)、藜科(Chenopodiaceae)、中华卷柏(*Selaginella sinensis*)等植物增多为特征[20,21].

课题组此前选择人类活动影响较大的安阳地区进行了较高密度的表土花粉分析, 意在认识较小范围内人类活动影响下的花粉组合特征及分异规律, 并尝试与历史时期进行对比[22]. 本研究是在更大空间范围的中国东部暖温带低山丘陵区采集表土样品进行人工和受人工强烈扰动植被花粉组合特征分析. 低山丘陵区多为栽培植被和受人工强烈扰动后生长的次生林或灌草丛, 人类活动影响相对较弱, 其花粉组合可能与历史时期平原区人类活动破坏植被初始阶段相近, 对从孢粉记录中识别人类活动的影响具有重要意义, 也可以较容易地寻找对人类活动有指示意义的花粉类型和花粉组合特征. 本文通过与已有自然植被表土花粉资料的对比, 寻找不同方式和强度人类活动影响下的孢粉组合特征, 探讨植被变化的人为影响程度和空间范围, 为未来筛选不同气候条件下人类活动的指示性和代表性花粉类型, 建立人类活动影响下的表土花粉组合特征和植被与气候的定量或半定量关系奠定基础.

1 研究区概况

研究区位于 109°37′~113°40′E, 32°19′~37°46′N. 行政区包括华北地区中南部和华中地区北部. 地貌上主要包括黄土高原和秦巴山地. 气候上属于暖温带和亚热带大陆季风气候区, 年均气温 8~16℃, 年均降水量 400~1000 mm[23]. 植被区划主要为温带落叶阔叶林区, 并经小部的北亚热带常绿、落叶阔叶混交林区. 由于人类活动的影响, 林地主要分布在中高山地带, 落叶阔叶林以辽东栎(*Quercus liaotungensis*)、栓皮栎(*Quercus variabilis*)等栎林为主, 并伴有油松、华山松(*Pinus armandii*)等针叶林; 混交林以青冈栎(*Cyclobalanopsis glauca*)和栎林为主, 并伴有巴山松(*Pinus henryi*)、华山松林区[24], 低山地带大部被虎榛子(*Ostryopsis davidiana*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、荆条(*Vitex negundo*)灌丛覆盖, 耕地多位于山前平原、山间谷地和较缓的坡地.

2 研究方法

2008 年 7 月中旬, 从山西吕梁至湖北襄樊折回山西阳泉, 沿途共采集 78 个表土样品(图 1), 包括 45 个耕地, 19 个荒地, 14 个园地与林地样品. 采样时为了降低偶然性, 选取样点后在周围 2 m 范围内, 遵循"多点混合"的原则铲取 4~5 处 0~1 cm 的表层土壤, 并详细记录每个样点的经纬度、海拔高度和主要植物种类.

实验室花粉提取时称取干燥样品 10 g, 采用常规的 HF 方法[25]进行. 化学处理前, 每个样品加入一粒石松孢子片(每片 27637 粒), 以计算花粉浓度. 花粉鉴定统计在 400 倍日本 Olympus BX51 光学显微镜下进行, 每个样品鉴定统计花粉 400 粒以上.

参照前人研究, 本研究根据孔环直径、雕纹和粒径将禾本科花粉分为 2 类: 粒径 35 μm 以下, 外壁较薄, 个体大小不一, 为禾本科杂草植物花粉; 粒径大于 35 μm, 表面纹饰清晰、孔环明显, 个体大小均一, 且多产自玉米地、小麦地、水稻田的为人工禾本科作物花粉[17,22].

孢粉百分比图式用 Tilia 软件完成[26]. 为客观分析不同样点花粉组合的一致性, 用 MVSP 软件进行

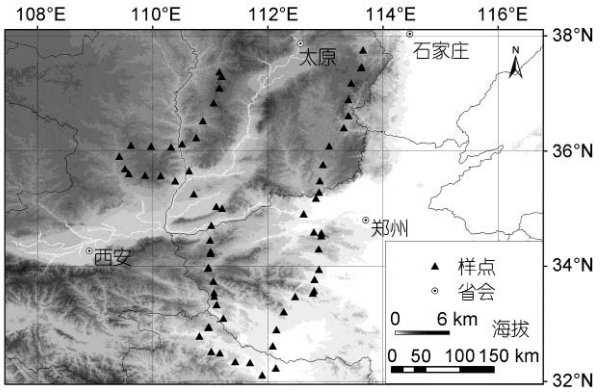

图 1 采样点分布

聚类分析(CA, Clustering Analysis)和主坐标分析(PCoA, Principal Coordinates Analysis), 主要花粉类型的空间分布用 ARCGIS 绘制, 并用 EXCEL 软件对不同土地利用类型的孢粉浓度进行了方差分析(ANOVA).

3 花粉组合特征

78 个样品共鉴定出 103 个科、属植物的孢粉类型, 其中 29 个乔木植物孢粉类型, 平均百分比 37.8%, 最高 67.6%, 几乎所有样品都出现的类型有松属(*Pinus*)、栎属(*Quercus*)、鹅耳枥属(*Carpinus*)、桦属(*Betula*)、胡桃属(*Juglans*)、杨属(*Populus*)、榆属(*Ulmus*)等, 漆树科(Anacardiaceae)、臭椿属(*Ailanthus*)、柳属(*Salix*)、朴属(*Celtis*)、板栗属(*Castanea*)、柏科(Cupressaceae)等类型常有出现但含量一般均不高, 樟科(Lauraceae)、榉属(*Castanopsis*)等少数几个类型只出现在研究区最南端. 17 个为灌木类型, 平均百分比为 4.1%, 最高 27.4%, 主要有胡颓子科(Elaeagnaceae)、虎榛子属(*Ostryopsis*)、蔷薇科(Rosaceae)、鼠李科(Rhamnaceae)、丁香属(*Syringa*)、白刺属(*Nitraria*)等. 50 个草本植物花粉类型, 平均百分比 46.5%, 最高达 87.2%, 常见花粉类型有禾本科(Poaceae)、蒿属(*Artemisia*)、藜科(Chenopodiaceae)、蓼科(Polygonaceae)、菊科(Compositea)、豆科(Leguminosae)、莎草科(Cyperaceae)、香蒲属(*Typha*)、葎草属(*Humulus*)、荨麻属(*Urtica*)、毛茛科(Ranunculaceae)、苋科(Amaranthaceae)、十字花科(Cruciferae)、唇形科(Labiatea)、百合科(Liliaceae)、石竹科(Caryophyllaceae)、茄科(Solanaceae)、旋花科(Convolvulaceae)等. 7 个蕨类孢子类型, 平均百分比 11.7%, 最高 92.3%, 主要为中华卷柏孢子(图 2).

根据采样时土地利用方式的不同, 对耕地(玉米地 23 个、水稻田 4 个、混作农田 18 个, 常有玉米、高粱、花生、大豆、土豆、红薯、葫芦、茄子等混作)、荒地(19 个, 主要为撂荒地、荒坡、堤坡)、园地与林地(苹果园 5 个、槐树林 4 个、其他园地 5 个, 其中葡萄园、柑橘园、花椒园、烟草地、桑园各 1 个)等的主要花粉类型进行比较, 不同土地利用类型花粉组合特征和孢粉浓度存在差异(图 3).

耕地花粉组合以草本植物占优势, 禾本科作物、十字花科花粉在各类型中最高. 此外, 一些农作物花粉只出现在对应的农田及其周围, 如亚麻科花粉只出现在亚麻地(1.4%), 菜豆属花粉只出现在两块赤小豆(红豆)田中(分别为 3.2%和 2.9%), 锦葵科花粉只出

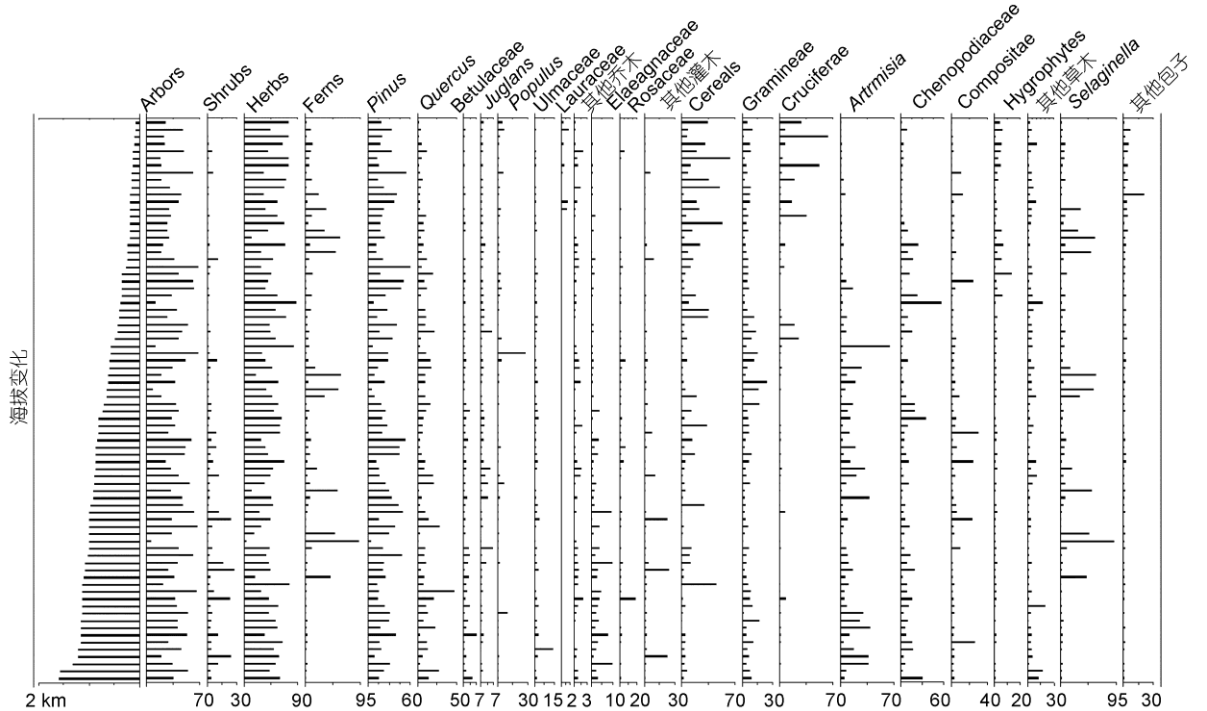

图 2 研究区表土花粉主要科属花粉百分比图谱与海拔变化

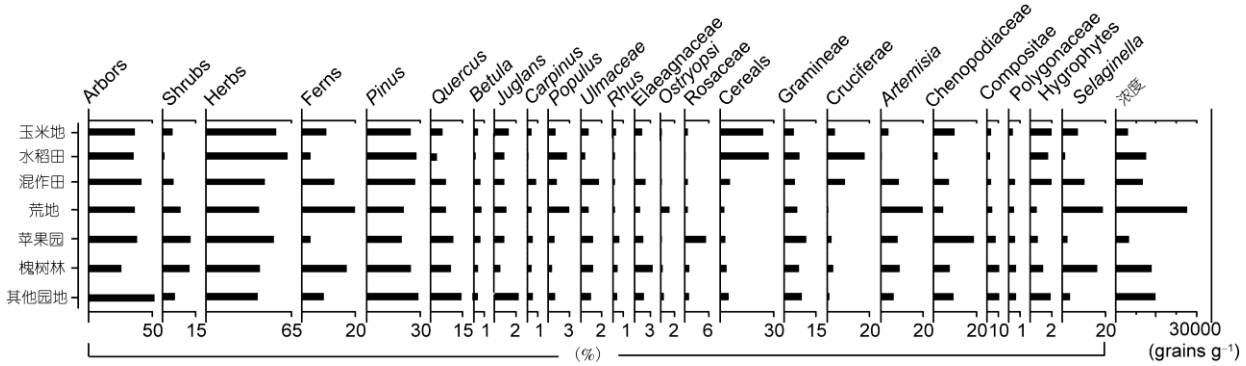

图 3 不同土地利用类型下主要科属花粉平均百分含量及浓度

现在 1 块玉米田和 3 个混作农田中(近旁有棉田, 平均为 1.8%, 最高为 3.8%), 胡麻科花粉也只出现在 4 个附近有芝麻种植的农田中(平均为 1.6%, 最高为 4.0%).

荒地样品的乔木、草本植物花粉均低于耕地, 主要是禾本科作物、十字花科和藜科低于耕地; 蒿属、禾本科杂草、菊科(本文中不包含蒿属)和蓼科高于耕地, 特别是蒿属花粉为耕地的 5 倍. 3 个样点未检出禾本科作物花粉, 9 个样点中未检出十字花科花粉. 灌木花粉和蕨类孢子均高于耕地.

苹果园中蔷薇科花粉平均 5.1%, 高于其他用地类型. 乔木、草本植物花粉与耕地相近, 但高于荒地. 其中蒿属低于荒地而高于耕地, 禾本科作物和十字花科高于荒地而低于耕地; 藜科、禾本科杂草、菊科和蓼科均高于耕地和荒地. 蕨类孢子低于耕地和荒地. 葡萄园葡萄属花粉 3.8%; 烟草地茄科花粉不足 1%; 柑橘园和花椒园检出的芸香科花粉与槐树林检出的豆科花粉也都低于 1%; 桑树幼林中未检出桑科花粉.

为降低采样距离和区域差异等因素的影响和更好的比较人类活动对花粉组合的影响, 我们选取 10 组耕地与其近旁荒地样点进行对比(全部是由玉米地和含玉米的混作田及其近旁撂荒地、荒坡地组成, 且农田有长期耕作痕迹, 耕地与荒地采样距离不超过 20 m). 对照组中花粉百分含量、浓度与全部样点保持了良好的一致性, 均是禾本科作物花粉浓度高于荒地外, 其他主要类型均低于荒地(图 4).

4 讨论

4.1 孢粉浓度差异与人类活动

耕地孢粉浓度平均为 6943 grains g^{-1}, 显著低于荒地的 26333 grains g^{-1}. 耕地孢粉浓度低于荒地的原因可能为: (1) 耕地周而复始的翻耕使得表土花粉不断分散到更深的土层, 而荒地植物产生的花粉更多地保存在土壤表层; (2) 耕地土壤相对疏松, 灌溉或降水后, 花粉更容易随水流下渗带入深层土壤中; (3) 耕地土壤肥沃, 微生物较多, 微生物对花粉吞噬作用较强. 此外, 人为去除杂草造成花粉类型单一、施肥

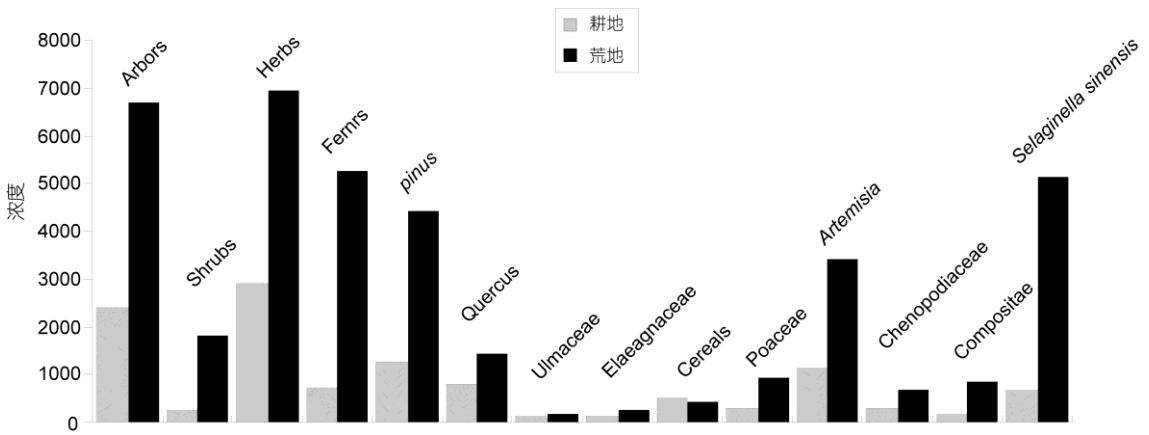

图 4 对照组中主要花粉类型平均浓度

腐蚀花粉影响保存等也都是耕地花粉浓度低的原因. 本研究耕地花粉浓度略低于西北干旱区的耕地(7227grains g^{-1})和荒地(32704 grains g^{-1})[27], 但略高于中部平原区(4227 grains g^{-1})[28]. 这些差异除由系统误差外, 应还有区域差异, 有待进一步研究.

进一步比较不同土地利用类型的孢粉浓度(图 3), 由低到高为玉米地(4057 grains g^{-1})、苹果园(4606 grains g^{-1})、混作田(9699 grains g^{-1})、水稻田(11140 grains g^{-1})、槐树林(13095 grains g^{-1})、其他园地(14031 grains g^{-1})、荒地(26333 grains g^{-1}), 方差分析(结果为 F>F crit, P-value≤0.01) 表明不同土地利用类型浓度存在统计学意义的差异. 单一种植的玉米地花粉浓度低于植物类型更丰富的混作田. 果树为虫媒植物, 花粉产量低[29,30], 且林下常套种农作物, 所以苹果园孢粉浓度与耕地相近, 而其他园地和人工林中常杂草丛生, 孢粉浓度高于耕地而低于荒地. 类型单一但植株密集的水稻田花粉浓度也较高, 但总体上可见, 同一区域内, 植被类型越单一, 人类活动干扰强度越大, 花粉浓度越低. 这也证明了前人关于人类活动常常导致花粉浓度或通量减小的结论[31]. 但不同土地利用类型孢粉浓度是否具有明确的数量特征, 地层孢粉浓度是否能够明确指示人类活动的强度, 有待更多不同土地利用类型孢粉浓度的证据.

4.2 花粉组合差异与人类活动

不同土地利用类型的花粉组合存在差异, 而同一土地利用类型下的花粉组合由于生境和人类活动强度不同也存在一定差异(图 2 和 3). 为了尝试通过花粉组合直接来判别土地利用类型, 选取全部花粉类型百分含量作为参数进行主坐标分析(PCoA), 结果可将全部样点分为两类, 荒地、园地、林地为一类, 耕地为一类(图 5). 以大于 35 μm 禾本科为农作物花粉, 依据花粉组合可以分出耕地样品, 但由于玉米、小麦、水稻、谷子等农作物多为禾本科植物, 加上套种、轮作等耕作方式的影响, 无法进一步区分不同的耕地类型. 果园中蔷薇科花粉和槐树林中豆科花粉含量不具有优势, 无法直接指示其土地利用类型, 也不能通过花粉组合将荒地、果园和经济林等直接区分开来.

为了寻找不同人类活动强度下花粉组合特征的差异, 对耕地和荒地的主要花粉类型进行聚类分析(CA) (图 6), 结果表明松属和栎属等乔木花粉含量在耕地和荒地相近, 这与其作为区域优势树种有相对稳定的百分含量相符, 其含量可以作为历史时期人类毁林开荒后乔木花粉含量的参考. 耕地中具有优势地位的草本花粉依次为禾本科作物、十字花科、中华卷柏、藜科、蒿属、禾本科杂草, 荒地中则依次为中华卷柏、蒿属、禾本科杂草、藜科、菊科、禾本科作物, 表明在低山丘陵区禾本科、藜科、蒿属、菊科、中华卷柏与人类活动密切相关, 其含量与优势地位对人类活动强度具有指示意义.

采样区位于暖温带落叶栎林和北亚热带常绿、落叶混交林地带, 地带性植被为各种松林和栎林, 所以松、栎花粉广泛存在, 且百分比较高, 而含量在 1%

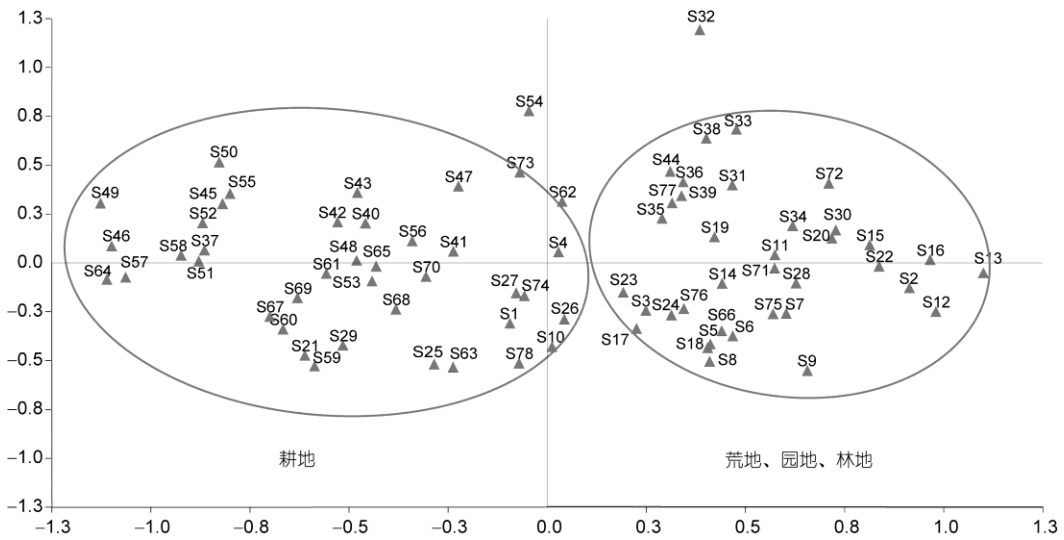

图 5　全部样品 PCoA 排序结果

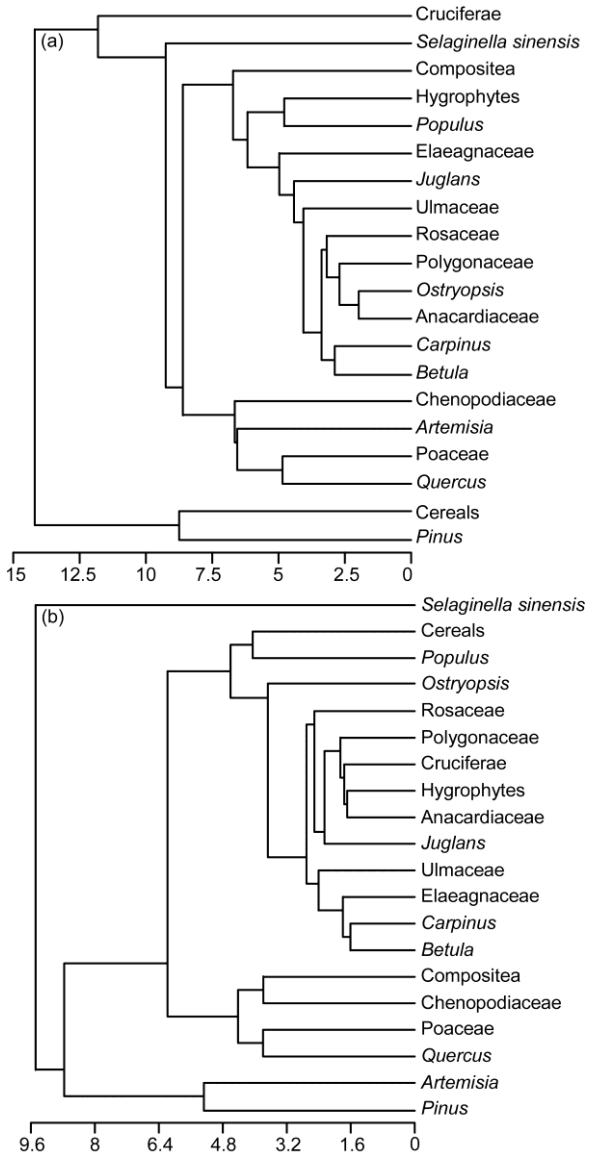

图 6 耕地(a)与荒地(b)花粉类型聚类分析

左右的其他乔木花粉类型也是实际分布数量较少的植物类型, 如杨树、胡桃、桦木、鹅耳枥、漆树等. 松属花粉在耕地、荒地中分别为 25.8%和 20.9%, 可认为距离松林相对较远[32]. 栎属花粉在耕地、荒地中分别为 7.4%和 8.8%, 太白山表土花粉研究表明, 栎属花粉主要降落在栎林内, 栎林内其百分含量一般达 55%以上[33], 中原地区栎林内栎属花粉平均为 18.7%[28], 因此样点也远离栎林, 表明低山丘陵区农业活动相对密集区域多与林地有一定距离. 所以研究区内不同土地利用类型的乔木花粉含量都较为接近. 研究区 78 个样点的乔木花粉平均含量为 37.8%, 高于课题组此前在安阳地区得到的 18%, 也很好地印证了山区是乔木花粉的重要来源. 而耕地中乔木花粉百分含量略高于荒地, 应是荒地中灌木和蕨类含量较高所致. 撂荒地或者受人类活动强烈扰动后的荒坡常出现灌草丛[34], 所以荒地中灌木花粉高于耕地. 但胡颓子科的一些种属可作为绿篱和具有食用药用价值, 常为人工种植或有意识留存于农田周围, 使其在耕地中含量高于荒地. 荒地中的蕨类孢子含量显著高于耕地, 可能与中华卷柏生长习性有关, 因为中华卷柏多生活在长江以北中纬度地区石灰岩成土母质的荒地和灌丛下[20].

耕地中草本花粉含量多高于荒地, 但禾本科杂草、蒿属、菊科花粉含量低于荒地, 可能与农田中草本植物类型相对简单有关. 耕地中藜科花粉含量相对较高, 可能与部分农田种植过藜科植物(如甜菜、菠菜)有关. 总体上看, 虽然耕地和荒地各组份含量不同, 但两者花粉类型比较一致, 表明耕地花粉组合并不只代表农田植被状况, 也可以反映地方和区域性植被特征[28]. 耕地中禾本科作物花粉比荒地高出 15%左右, 对照组中, 由农田到近旁荒地, 禾本科作物含量一般迅速下降至 3%以下, 平均降低 10%. 亚热带稻作区发现, 稻田外 5~10 m 的旱地表土中水稻型花粉含量普遍比水稻田内降低约 20%[19], 禾本科作物花粉含量下降的数量差异应与南北作物类型和种植方式不同有关.

对比本研究与中原地区[28]和安阳地区的工作[22,35], 本研究农田中禾本科(本段中指禾本科作物与禾本科杂草之和)和蒿属含量均低于中原和安阳; 荒地中禾本科、蒿属、藜科含量也低于安阳地区, 应与低山丘陵区人类活动强度低于平原区有关. 与安阳古土壤样品相比, 研究区草本花粉平均含量与安阳古土壤相近, 只是禾本科含量略高(约 5%), 蒿属、藜科略低(约 4%). 若考虑育种、耕作方式、耕作技术的改进和提高, 可见丘陵区人类活动强度与安阳古土壤时期相近. 因此, 低山丘陵区现代花粉组合特征可能类似于历史时期人类活动相对集中的平原地区.

4.3 主要类型花粉空间分布与人类活动

对 78 个样点按海拔进行排序表明, 研究区内大部分孢粉类型的含量与海拔高度关系密切(图 2). 采用 ARCGIS 对禾本科作物、十字花科、樟科、栎属、蒿属、藜科、灌木、中华卷柏等花粉类型进行空间分布展示, 表明主要花粉类型也具纬度上的分布规律

(图 7).

灌木花粉含量随海拔升高和纬度北移明显升高, 栎属、桦木科、榆科和其他乔木随海拔升高略有上升, 其中栎属由西北向东南递减; 樟科花粉出现在研究区南端海拔较低的区域, 表明进入亚热带气候区; 中华卷柏在研究区中南部 34°N 左右含量最高; 水生草本花粉和除中华卷柏外的其他孢子则随海拔升高而减少. 松属和分布广泛的禾本科杂草、菊科等花粉含

表 1　耕地中栽培作物、禾本科作物、十字花科、蒿属和藜科花粉含量随海拔变化

海拔(m)	栽培作物	禾本科作物	十字花科	蒿属	藜科	样点数
<200	40.7	25.0	15.5	1.0	2.5	15
200~500	23.8	15.9	6.6	2.6	14.7	9
500~1000	12.1	11.4	0.4	6.2	7.4	13
>1000	11.2	10.9	0.2	13.8	8.6	8

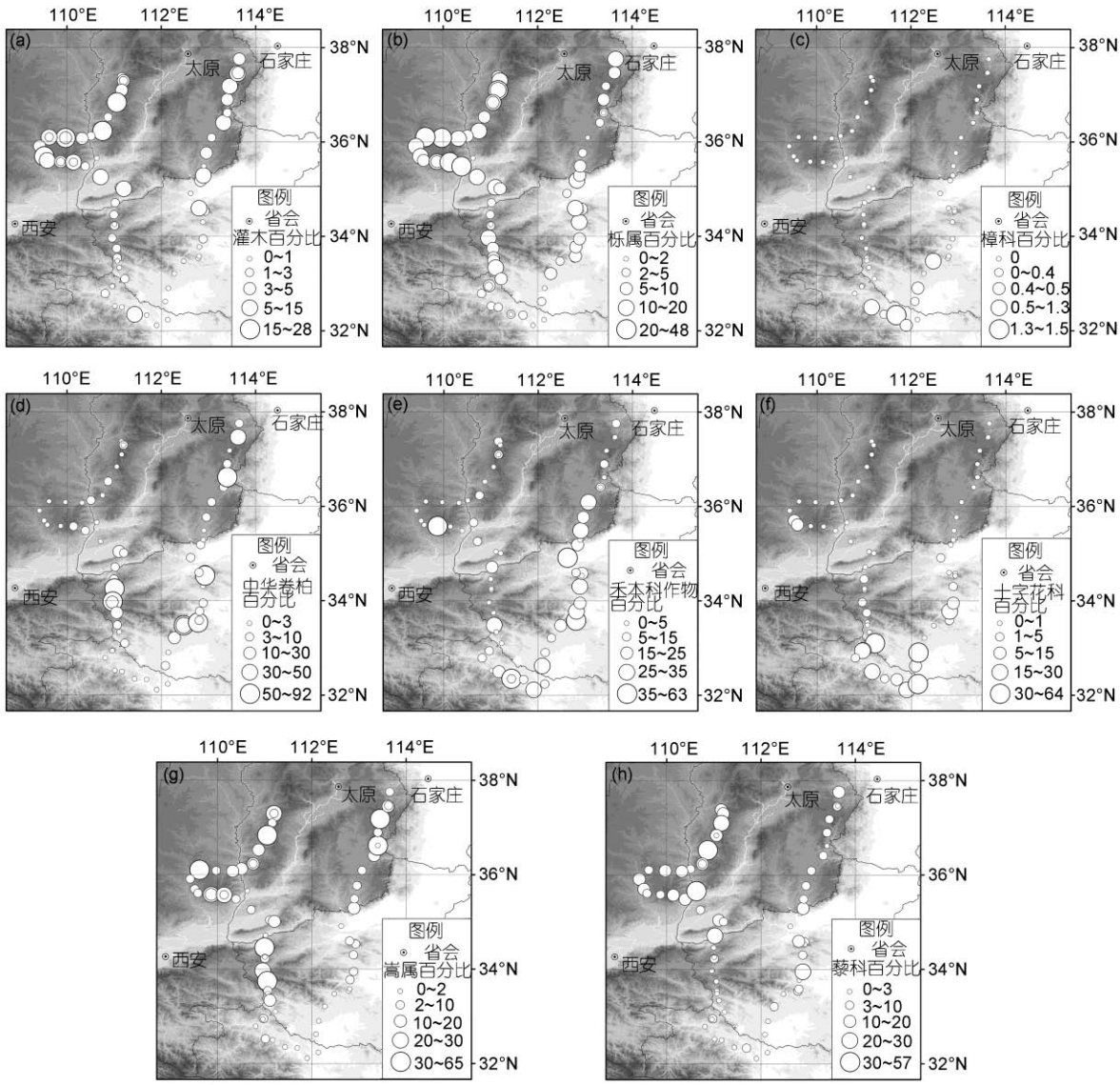

图 7　主要类型花粉的空间分布

(a) 灌木; (b) 栎属; (c) 樟科; (d) 中华卷柏; (e) 禾本科作物; (f) 十字花科; (g) 蒿属; (h) 藜科

量随海拔波动无显著规律. 这些变化显然与温度和降水等自然因素有关, 与其实际的自然分布相符. 杨属花粉在海拔降低时出现的频率和含量都有所增高, 胡桃科在海拔 500~1000 m 处含量略高, 应与其既有自然分布也常为人工种植有关.

禾本科作物、十字花科、蒿属和藜科花粉含量随海拔与纬度变化更为明显, 即海拔降低, 纬度南移, 禾本科作物和十字花科花粉增加, 蒿属和藜科花粉减少. 在所有耕地样品中, 海拔在 200 m 以下的栽培作物花粉(禾本科作物、十字花科、亚麻科、胡麻科和锦葵科等总和)是 200~500 m 时的近 2 倍, 是 1000 m 以上时的近 4 倍, 可见人类活动强度随海拔降低而显著增强. 藜科花粉在 200~500 时异常升高, 是与此海拔范围的人类活动强度相关, 还是耕地周围环境的自然分布较多, 有待进一步研究(表 1).

图 7(e)和(f)显示禾本科作物含量总体上随纬度南移而逐渐增加, 而十字花科花粉含量在研究区南端明显较高, 表明农业活动在研究区内由北向南呈增强的趋势. 研究区东南部在植被区划上属于小麦、水稻、杂粮栽培区[24], 同时也进入我国油菜分布密集区, 常有水稻和十字花科作物轮作, 花粉组合也反映了该种植习惯. 农作物花粉组合特征与人类耕作之间良好的对应关系, 使得其不仅可以反映农业活动的开始与存在[31,36], 而且使得反演当时的农业生产方式和规模成为可能. 图 7(g)和(h)显示蒿属和藜科花粉含量从较干旱且海拔较高的黄土高原向西南递减, 这与前人揭示的蒿属和藜科对气候干旱化和人类活动具有双重指示意义[37,38]相一致.

综上可见, 从较大空间范围上对具有气候指示意义或与人类活动密切相关的花粉类型进行空间分布规律的研究, 可以更好地探讨人类活动影响下的花粉组合与植被和气候的关系.

5 结论

(1) 耕地中农作物花粉浓度高于荒地, 其他主要花粉类型均低于荒地. 植被类型越单一, 人类活动干扰强度越大, 花粉浓度越低, 表明人类活动增强会导致孢粉浓度降低, 不同人类活动强度和方式影响下的孢粉浓度存在一定的统计学意义. 主坐标和聚类分析表明在山地丘陵区禾本科、藜科、蒿属、菊科、中华卷柏与人类活动密切相关, 其含量与优势地位在耕地与荒地中不同, 对人类活动强度具有指示意义.

(2) 低山丘陵区不同土地利用类型的乔木花粉含量相近, 草本花粉含量主要受人类活动影响. 农作物花粉含量及组合特征包含着农耕方式和规模的信息, 耕地中禾本科作物和十字花科花粉平均含量分别为 16.7%和 6.7%, 邻近荒地迅速降至 3%以下和不足 0.5%. 以禾本科作物花粉为指示, 可以通过花粉组合将耕地与其他土地利用类型区分开, 但由于农作物多为禾本科植物, 加上套种、轮作等耕作方式的影响, 无法进一步细分不同的耕地类型. 果园中蔷薇科、槐树林中豆科花粉产量较低, 无法直接指示土地利用类型, 也不能通过花粉组合将荒地、果园和经济林等直接区分开来.

(3) 低山丘陵区主要花粉类型含量变化与海拔和纬度有较好的对应关系, 花粉组合的空间分布特征能较好的反映自然因素及其影响下的人类活动强度的变化. 低山丘陵区人工植被及受人工强烈扰动的植被花粉组合与历史时期人类活动相对集中的平原区相近, 可能对平原区人类活动初始阶段环境特征具有参考价值.

参考文献

1 孙湘君, 王琦瑜, 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: 431–436
2 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: 2182–2186
3 宋长青, 孙湘君. 中国第四纪孢粉学研究进展. 地球科学进展, 1999, 14: 401–405
4 郑卓, Cour P, 邹和平, 等. 热带雨林的孢粉垂直分布规律——以海南岛现代孢粉雨为例. 古生物学报, 2002, 41: 487–496
5 吕厚远, 王淑云, 沈才明, 等. 青藏高原现代表土冷杉和云杉花粉的空间分布. 第四纪研究, 2004, 24: 39–49
6 许清海, 李月从, 阳小兰, 等. 北方草原区主要群落类型表土花粉分析. 地理研究, 2005a, 24: 394–402
7 许清海, 李月丛, 阳小兰, 等. 中国北方几种主要森林群落表土花粉组合特征研究. 第四纪研究, 2005b, 47: 585–597
8 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: 647–653
9 李月丛, 许清海, 阳小兰, 等. 中国草原区主要群落类型花粉组合特征. 生态学报, 2005, 25: 555–564

10 李月丛, 许清海, 肖举乐, 等. 中国北方森林植被主要表土花粉类型对植被的指示性. 第四纪研究, 2005, 25: 598–608
11 李月丛, 许清海, 肖举乐, 等. 中国北方几种灌丛群落表土花粉与植被关系研究. 地理科学, 2007, 27: 205–210
12 Hjelle L K. Relationships between pollen and plants in human-influenced vegetation types using presence-absence data in western Norway. Rev Palaeobot Palynology, 1997, 99: 1–16
13 Court-Picon M, Alexandre B, Beaulieu J-L. Modern pollen–vegetation relationships in the Champsaur valley (French Alps) and their potential in the interpretation of fossil pollen records of past cultural landscapes. Rev Palaeobot Palynology, 2005, 135: 13–39
14 Court-Picon M, Alexandre B, Beaulieu J-L. Modern pollen/vegetation/land-use relationships in mountain environments: an example from the Champsaur valley (French Alps). Veg Hist Archaeobot, 2005, 15: 151–168
15 Buttler A, Mazier F, Galop D. Modern pollen assemblages from grazed vegetation in the western Pyrenees, France: a numerical tool for more precise reconstruction of past cultural landscapes. The Holocene, 2006, 16: 91–103
16 Liu H Y, Wang Y, Tian Y H, et al. Climatic and anthropogenic control of surface pollen assemblages in East Asian steppes. Rev of Palaeobot Palynology, 2006, 138: 281–289
17 邓韫, 郑卓, Cour P, 等. 中国东部花粉比值与气候的关系及其在定量古气候重建中的应用. 古生物学报, 2002, 41: 508–516
18 秦新生, 刘苑秋, 邢福武. 低丘人工林林下植被物种多样性初步研究. 热带亚热带植物学报, 2003, 11: 223–228
19 杨士雄, 郑卓, 黄康有, 等. 亚热带稻作区表土孢粉研究及其考古学应用. 第四纪研究 2010, 30: 262–271
20 张佳华, 孔昭宸. 中华卷柏在恢复过去环境研究中的生态指示意义. 西北植物学报. 1999, 19: 530–537
21 杜晓军, 姜凤岐, 焦志华. 辽宁西部低山丘陵区植被恢复研究: 基于演替理论和生态系统退化程度. 应用生态学报, 2004, 15: 1507–1511
22 Wang X L, Li Y C, Xu Q H, et al. Pollen assemblages from different agricultural units and their spatial distribution in Anyang area. Chinese Science Bulletin, 2010, 55: 544–554
23 焦北辰. 中国自然地理图集. 北京: 地图出版社, 1984. 59–60
24 张新时. 中国植被图及其地理格局. 北京: 地质出版社, 2007. 538–608
25 Faegri K, Iversen J. Textbook of pollen analysis (3rd.). Oxford: Blackwell, 1989. 295
26 Grimm E C. Tilia and Tilia graph PC spreadsheet and graphics software for pollen data. INQUA, Working Group on Data-Handling Methods. Newsletter, 1990, 4: 5–7
27 马艳玲, 许清海, 黄小忠, 等. 西北干旱区人工扰动植被类型花粉组合特征. 2009, 11: 946–956
28 郑振华, 田芳, 曹现勇, 等. 中原地区不同植被类型花粉组合特征及对周围植被的代表性. 地理与地理信息科学, 2008, 4: 92–97
29 王琫瑜, 宋长青, 孙湘君. 内蒙古中部表土花粉研究. 植物学报, 1996, 38: 902–9091
30 桑艳礼, 马玉贞, 高尚玉, 等. 甘肃兴隆山国家自然保护区表土花粉组合及数量分析. 古生物学报, 2008, 47: 457–467
31 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: 238–245
32 李文漪, 姚祖驹. 表土中松属花粉与植物间数量关系的研究. 植物学报, 1990, 32: 943–950
33 李月丛, 许清海, 曹现勇, 等. 太白山北坡花粉通量与表土花粉研究. 地理研究, 2008, 27: 536–546
34 李宜垠, 周力平, 崔海亭. 人类活动的孢粉指示体. 科学通报, 2008, 53: 991–1002
35 许清海, 曹现勇, 王学丽, 等. 殷墟文化发生的环境背景及人类活动的影响. 第四纪研究, 201, 30: 273–286
36 Poska A, Saarse L, Veski S. Reflections of pre- and early- agrarian human impact in the pollen diagrams of Estonia. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2004, 209: 37–50
37 任国玉. 科尔沁沙地东南缘近 3000 年来植被演化与人类活动. 地理科学. 1999, 19: 42–48
38 刘鸿雁, 李宜垠. 半干旱区气候变化和人类活动的孢粉指示. 古生物学报, 2009, 48: 211–221