

东北地区人工扰动植被表土孢粉与植被和气候的关系

李曼玥^{①②}, 李月丛^{①②*}, 许清海^{①②}, 庞瑞洛^{①②}, 丁伟^{①②}, 张生瑞^{①②}, 贺治国^{①②}

① 河北师范大学资源与环境科学学院, 石家庄 050024;

② 河北省环境演变与生态建设实验室, 石家庄 050024

* 联系人, E-mail: lyczh@yahoo.cn

2011-06-04 收稿, 2011-09-30 接受

国家自然科学基金重点项目(40730103)、国家自然科学基金(41071132)和河北省自然科学基金(D2008000186, D2009000300)资助

摘要 东北地区 53 个农田和荒地土壤样品孢粉分析表明: 孢粉组合具有一定相似性, 如乔木花粉含量通常高于 30%, 以松属、栎属、桦木科和杨属为主; 草本花粉含量通常高于 50%, 禾本科、藜科、蒿属、菊科等是最常见草本花粉类型, 与研究区地带性植被类型一致. 但不同区域, 特别是不同地貌单元的农田孢粉组合存在一定差异: 山区农田乔木花粉类型丰富, 含量最高, 平均为 41.7%, 人工禾本科花粉含量较低, 仅为 11.2%; 高平原丘陵区农田草本花粉数量较山区增加, 主要为人工禾本科, 含量高达 53.6%; 平原区农田孢粉组成与丘陵区相近, 但人工禾本科含量略有下降, 平均为 41.6%, 孢粉总浓度较高平原丘陵区明显偏高, 环纹藻数量也最多. 不同土地利用类型孢粉组合存在一定差别, 禾本科、藜科等主要花粉类型含量差别明显, 农田人工禾本科花粉一般高于 40%, 荒地普遍小于 10%; 藜科花粉在农田中含量仅为 2.5%, 荒地中平均可达 25.0%; 农田孢粉浓度(平均 3909 粒/g)与荒地孢粉浓度(平均 15074 粒/g)差距较大. 孢粉组合与气候因子的分析表明, 东北地区农田孢粉组合与最热月温度和年平均温度显著负相关, 与降水也有一定的相关性, 表明人工扰动或人工植被仍可以较好地反映区域气候变化信息. 与其他区域对比表明: 不同区域孢粉浓度均可以较好地反映人类活动强度及土地利用类型状况, 不同区域农田人工禾本科含量也存在一定差异, 东北地区明显高于中国北方其他地区, 应为人类耕作习惯和气候等因素共同作用的结果.

关键词

东北地区
农田
荒地
孢粉组合
人类活动
气候

孢粉作为一种较好的古环境代用指标, 在古环境重建研究中起着举足轻重的作用. 表土孢粉组合及其与植被和气候的关系, 是利用化石孢粉恢复古植被、古环境的重要依据^[1~7]. 近年来随着研究的深入, 人们意识到人类活动不仅是驱动未来环境变化的重要因素, 也是过去 8000 年来环境变化不可忽视的因素^[8~10]. 越来越多的孢粉学工作者也开始关注人类活动影响下不同植被类型表土孢粉研究, 以期更好地辨识过去人类活动信息并预测未来环境变化. 如 Court-Picon 等人^[11,12]对法国阿尔卑斯山区自然和人工扰动植被表土花粉研究, 发现了一些对人工扰动植被有指示意义的花粉类型; Buttler 等人^[13]通过对

法国比利牛斯山草地花粉组合特征研究, 认为不同人类活动影响程度下的花粉组合特征有所不同; 刘鸿雁等人^[14]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, 认为同一草原类型中藜科花粉含量的变化可能反映人类活动的干扰程度; 中国不少学者还对不同地区、不同类型农田表土孢粉组合特征进行过研究^[15,16], 得出了更多的与人类活动有关的结论, 如庞瑞洛等人^[17]研究认为农田花粉组合受区域植被的影响, 不同农业单元孢粉浓度差异主要由于种植习惯等人类活动强度和方式不同等因素造成; 丁伟等人^[18]发现较大空间范围内人类活动影响下的花粉组合及空间分布特征, 可以指示人类活

英文版见: Li M Y, Li Y C, Xu Q H, et al. Surface pollen assemblages of human-disturbed vegetation and their relationship with vegetation and climate in Northeast China. *Chin Sci Bull*, 2012, 57: 535–547, doi: 10.1007/s11434-011-4853-9

动和自然变化对花粉组合的影响. 但相对于自然植被研究, 人工或人工扰动植被表土孢粉组合特征研究仍显不足, 研究区域分布不均.

东北地区是中华文明的发祥地之一, 距今 6000 年前, 人类就已经在东北地区劳动、生息和繁衍, 创造了东北早期文明——新开流文化^[19]. 近代以来, 经过大规模垦殖, 人工植被或人工扰动植被已经成为最主要的植被类型. 但有关东北地区人工或人工扰动植被孢粉组合研究未见报道. 本文拟通过东北地区 53 个不同农田和荒地的表土孢粉分析, 探讨不同地貌类型及不同人类活动强度影响下的表土孢粉组合特征及其对植被和区域气候的反映程度, 揭示孢粉对人类活动的指示程度, 为更好地认识东北地区全新世以来的人类活动信息和预测未来环境变化提供基础数据.

1 研究区概况

研究区位于 40.03°~49.24°N, 119.84°~125.17°E, 采样点位置见图 1. 区内海拔 2~931 m, 主要包括辽河平原、松嫩平原和大兴安岭山地等. 受纬度、海陆位置、地形等因素的影响, 气候上属温带大陆性季风型

气候, 自南向北跨暖温带和中温带, 年均气温 -1.5~8.1℃, 年均降水量 350~700 mm; 降水主要集中在 7~8 月^[20~23].

研究区自然植被包括温带针阔混交林、中温带落叶阔叶林和暖温带落叶阔叶林, 随海拔高度变化, 植被组成存在一定差异^[21~23]. 海拔 200 m 以下为平原区, 目前多为农田, 自然植被已经比较少见, 区内零星分布有油松(*Pinus tabulaeformis*)、辽东栎(*Quercus liaotungensis*)和蒙古栎(*Quercus mongolica*)等. 近年来, 以油松和刺槐(*Robinia pseudoacacia*)为主的人工林面积不断增加. 城市、村庄和路旁散生有杨(*Populus*)、榆(*Ulmus*)、柳(*Salix*)、槐(*Sophora*)等属^[21].

200~500 m 为高平原和丘陵, 农田有大量分布, 自然植被人为破坏严重. 阳坡多为以辽东栎、蒙古栎为主的夏绿林, 其中混生油松和少量麻栎(*Quercus acutissima*)、槲树(*Quercus dentata*)、花曲柳(*Fraxinus rhynchophylla*)等属种, 林下灌木多为胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、酸枣(*Ziziphus jujuba* var. *spinosa*)等; 阴坡多为乔灌混生、无一定优势种的杂木林, 林内以黑桦(*Betula dahurica*)、春榆(*Ulmus japonica*)、色木槭(*Acer mono*)等最为常见, 林下灌木以榛(*Corylus*

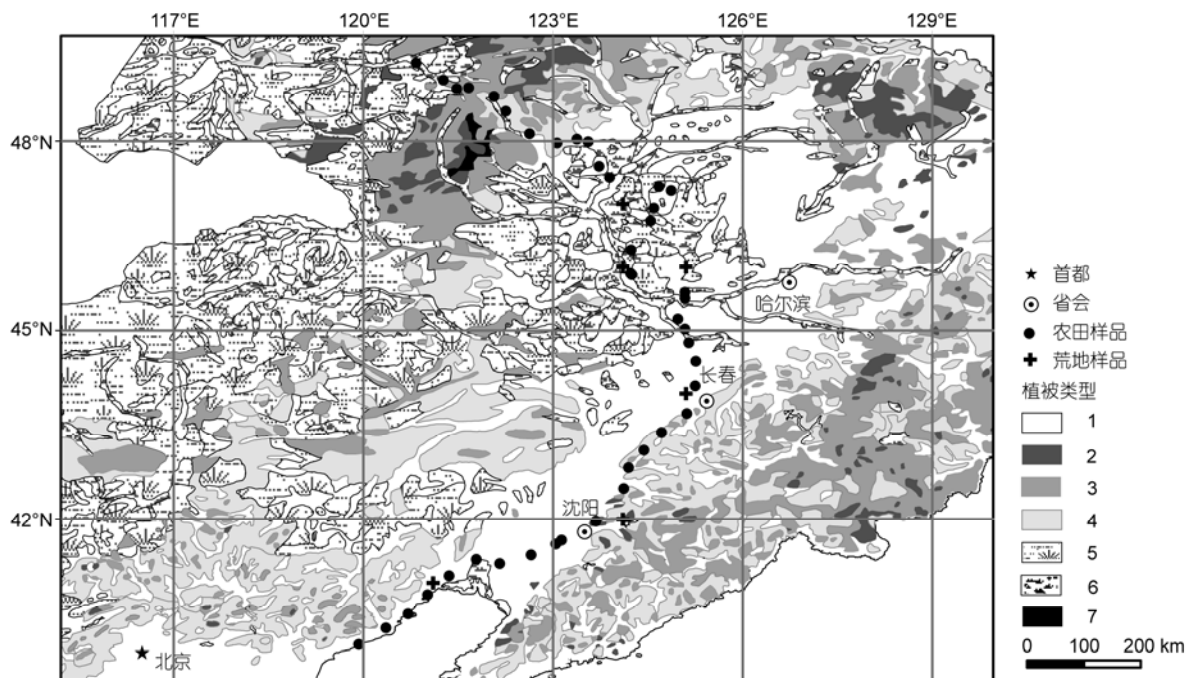


图 1 研究区植被类型及采样点位置

1, 农田; 2, 寒温带、温带山地落叶针叶林; 3, 暖温带落叶阔叶林; 4, 温带落叶灌丛; 5, 温带草原; 6, 温带草甸; 7, 湖泊、沼泽

heterophylla)、绣线菊(*Spiraea*)为主。草本植物多为大针茅(*Stipa grandis*)、羊草(*Leymus chinensis*)、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)、委陵菜属(*Potentilla*)等^[22,23]。

500~900 m 为大兴安岭山区,林带内优势或常见乔木包括兴安落叶松(*Larix gmelinii*)、油松、杜松(*Juniperus rigida*)、栓皮栎(*Quercus variabilis*)、麻栎、蒙古栎、黑桦、侧柏(*Platycladus orientalis*)等;林下以兴安杜鹃(*Rhododendron dauricum*)、荆条(*Vitex negundo*)、酸枣、贝加尔针茅(*Stipa baicalensis*)等为常见^[20,24]。

人工植被主要分布在以栽培作物为主的农田中。农田主要种植玉米(*Zea mays*)、小麦(*Triticum aestivum*)、水稻(*Oryza glaberrima*)、高粱(*Sorghum vulgare*)、大豆(*Glycine max*)、绿豆(*Vigna radiata*)、花生(*Arachis hypogaea*)等粮食作物,以及苹果(*Malus*)和桃(*Prunus persica*)等水果,还种植一些如圆白菜(*Brassica oleracea*)、番茄(*Lycopersicon esculentum*)、辣椒(*Capsicum frutescens*)、萝卜(*Raphanus sativus*)、马铃薯(*Solanum tuberosum*)等蔬菜作物。

本文中荒地主要指撂荒地和荒草地,乔灌木一般较少,草本植物占绝对优势。种类以荆条、蒿属(*Artemisia*)、香蒲(*Typha orientalis*)、藜科(*Chenopodiaceae*)、莎草(*Cyperus rotundus*)、苍耳(*Xanthium sibiricum*)、葎草(*Humulus scandens*)、地榆(*Sanguisorba officinalis*)、向日葵(*Helianthus annuus*)、伞形科(*Umbelliferae*)、扁蓿(*Melissitus rutenica*)、牻牛儿苗(*Erodium stephanianum*)、紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)等为常见。

2 研究方法

(i) 野外工作。2008 年 6 月,研究区共采集农田和荒地土壤样品 53 个,其中农田样品 44 个(玉米地 21 个、水稻田 4 个、小麦地 2 个、高粱地 1 个、果园 3 个、菜地 6 个、豆类及谷物混种 7 个),荒地样品 9 个(撂荒地 3 个、荒草地 6 个)。所有样品均采集自 0~1 cm 的表层土壤,选取样点后在周围 9 m² 范围内多点取样,混合成为一个样品;同时记录周围主要植物种类。样方位置采用全球定位系统(GPS)确定,详细记录了每个样点的经纬度、海拔高度(表 1)。

(ii) 实验方法。实验室孢粉提取采用常规酸碱处理和重液浮选的方法,表土样品取干重 10 g。样品

处理前,每个样品加入 1 粒石松孢子片(27637±563 粒/片)作为指示剂以计算孢粉浓度。孢粉鉴定统计在 400 倍日本 Olympus BX51 光学生物显微镜下进行,每个样品一般统计 3~4 个玻片或更多,鉴定统计孢粉 400 粒以上(未包含环纹藻)。数据处理时,环纹藻的数量不计算在孢粉总数内,但计算了其占孢粉总数的百分比。参照前人研究^[25,26],根据孔环直径、雕纹和粒径等对禾本科花粉进行区分:粒径大于 75 μm 的禾本科花粉,同现代玉米花粉大小和形态均一致,认为其是玉米花粉;粒径 35~50 μm,大小均一、孔环明显、表面纹饰清晰,多产自小麦和水稻等农田,将其归为人工禾本科花粉;粒径小于 35 μm,外壁较薄且个体大小不一,将其归为禾本科杂草植物花粉。

(iii) 数据处理。孢粉数量统计数据处理采用 Excel 软件,采样点图由 ArcGIS 软件绘制完成;孢粉百分比图由 Tilia 软件完成。

为客观分析不同样点孢粉组合的异同,使用 MVSP 软件进行聚类分析。聚类分析(clustering analysis, CA)是古生物学及孢粉学常用的多元统计分析方法之一,它根据样本的多个变量、多个观察数据,定量确定样品间的相似性或亲疏关系,并据此连结样品或变量,归成大小类群,构成分类树状图^[27]。

表土孢粉组合中,由于每个样品中包含多个孢粉类型,以孢粉数据为基础利用主成分分析(principal component analysis, PCA)可以突出影响孢粉组合的主要孢粉类型,使分析结果更加直观、有效^[28]。在 PCA 分析的基础上加入环境变量进行冗余分析(redundancy analysis, RDA)^[29,30],可以有效分析孢粉组合与植被和气候的关系。因此,本文中选取主要孢粉类型利用 Canoco 4.5 软件对孢粉数据进行了主成分分析和冗余分析,以进一步确定影响孢粉组合的主要环境因素。

取样点的温度和降水数据根据国家基准站气象资料插值得出,并对温度变量进行海拔校正,温度递减率按海拔高度每升高 100 m,温度降低 0.6℃计算。气候数据主要采用年均温、年降水量和最热月温度。

3 研究结果

53 个样品共鉴定出孢粉类型 59 个,其中乔木花粉类型 20 个,灌木花粉类型 5 个,草本花粉类型 30 个,蕨类孢子类型 4 个。乔木花粉平均含量为 31.5%,

表 1 采样点位置及植被状况

编号	地点	样点类型	纬度(N)	经度(E)	海拔(m)	主要植物类型
DB01	孟姜	玉米地	40.03°	119.84°	17	玉米、水稻、禾本科杂草、桃、榆等
DB02	绥中南	果园	40.29°	120.27°	32	苹果、桃、花生、黄豆、禾本科杂草等
DB03	兴城西	荒地	40.51°	120.61°	33	油松、荆条、槐、榆、旱芦苇、蒿属、藜科等
DB04	兴城西	混作田	40.51°	120.62°	17	玉米、花生、柏、槐、禾本科杂草、蒿属等
DB05	葫芦岛北	荒地	40.81°	120.93°	20	荆条、莎草科、禾本科杂草、柏、槐等
DB06	葫芦岛北	玉米地	40.81°	120.93°	19	玉米、禾本科杂草、蒿属、莎草科、藜科等
DB07	锦州南	玉米地	41.11°	121.27°	37	玉米、黄豆、莎草科、禾本科杂草、蒿属、槐等
DB08	锦州南	荒地	41.13°	121.31°	23	油松、委陵菜、莎草科、禾本科杂草、蒿属、藜科等
DB09	北宁南	玉米地	41.37°	121.70°	9	玉米、杨、菊科、蒿属、藜科等
DB10	沟帮子北	水稻田	41.30°	122.07°	2	水稻、黄豆、芦苇、香蒲、菊科、蒿属、槐等
DB11	安乡县北	玉米地	41.44°	122.57°	10	玉米、杨等
DB12	安乡县北	玉米地	41.44°	122.57°	10	玉米、杨、禾本科杂草、莎草科、芦苇、香蒲等
DB13	辽中北	水稻田	41.61°	122.96°	20	水稻、黄豆、蒿属、藜科、菊科、杨、柳、莎草科等
DB14	辽中北	玉米地	41.67°	123.05°	24	隐子草、莎草科、菊科、蓼科、蒿属、藜科、杨等
DB15	沈阳北	玉米地	41.97°	123.59°	64	玉米、苔草、白蜡等
DB16	铁岭南	荒地	42.19°	123.74°	64	莎草科、菵草、菊科、蒿属、藜科、景天科等
DB17	开原南	混作田	42.49°	124.03°	88	水稻、玉米、杨、莎草科、菊科、菵草等
DB18	昌图北	玉米地	42.82°	124.11°	160	玉米、菊科、禾本科杂草、莎草科、菵草等
DB19	四平南	玉米地	43.10°	124.35°	203	玉米、杨、菊科、豆科、蒿属、禾本科杂草等
DB20	公主岭南	果园	43.38°	124.63°	225	苹果、黄豆、玉米、菊科、藜科、禾本科杂草等
DB21	公主岭北	荒地	43.50°	124.85°	239	蒿属、禾本科杂草、榆、萝藦科、菊科等
DB22	长春南	玉米地	43.68°	125.03°	231	玉米、杨、禾本科杂草、蒿属、藜科、菊科等
DB23	长春北	玉米地	44.12°	125.16°	209	玉米、油松、丁香、莎草科、禾本科杂草、菵草等
DB24	农安北	荒地	44.46°	125.16°	180	禾本科杂草、莎草科、蒿属、藜科、菊科、杨等
DB25	农安北	玉米地	44.51°	125.17°	183	玉米、向日葵、禾本科杂草、杨、蒿属、藜科等
DB26	松原南	混作田	44.81°	125.06°	268	高粱、玉米、杨、柳、禾本科杂草、蒿属、菊科等
DB27	松原南	水稻田	45.02°	125.00°	135	水稻、杨、禾本科杂草、莎草科、菊科、蒿属等
DB28	松原北	玉米地	45.18°	124.89°	141	玉米、杨树、禾本科杂草、菊科、藜科、锦葵科等
DB29	肇源南	玉米地	45.51°	125.00°	124	玉米、菊科、蒿属、藜科、唇形科、蓼科、扁蓿等
DB30	肇源西	高粱地	45.60°	125.00°	126	高粱、莎草科、菊科、禾本科杂草、红蓼等
DB31	肇源西	荒地	45.75°	124.58°	125	禾本科杂草、莎草科、菊科、蒿属、藜科、扁蓿等
DB33	肇源西	果园	45.88°	124.16°	130	苹果、黄豆、禾本科杂草、藜科、向日葵等
DB34	肇源北	混作田	45.90°	124.14°	136	玉米、高粱、绿豆、藜科、杨、莎草科、豆科等
DB35	泰康南	混作田	46.27°	124.15°	138	玉米、黄豆、杨、槐、丁香、禾本科杂草、蒿属等
DB36	泰康南	荒地	46.30°	124.15°	133	禾本科杂草、蒿属、菊科、藜科、委陵菜、槐等
DB37	泰康南	荒地	46.62°	124.42°	142	槐、松、榆、杨、蒿属、莎草科、豆科、葱属等
DB38	泰康南	玉米地	46.73°	124.46°	145	玉米、槐、禾本科杂草、菊科、莎草科、藜科等
DB39	泰康北	玉米地	46.93°	124.51°	142	玉米、向日葵、莎草科、藜科、菊科、杨等
DB41	林甸西	菜地	47.21°	124.78°	151	圆白菜、菜豆、马铃薯、青椒、香瓜、禾本科杂草等
DB42	林甸西	水稻田	47.27°	124.59°	150	水稻、杨、禾本科杂草、豆科、菊科、芦苇等
DB44	齐齐哈尔	混作田	47.42°	123.81°	149	玉米、水稻、向日葵、辣椒、杨、禾本科杂草等
DB45	甘南南	玉米地	47.60°	123.64°	155	玉米、黄豆、蒿属、菊科、禾本科杂草、莎草科等
DB46	甘南北	玉米地	47.99°	123.47°	238	玉米、杨、菊科、禾本科杂草、莎草科、扁蓿等
DB47	甘南北	玉米地	47.99°	123.47°	238	玉米、委陵菜、莎草科、菊科、禾本科杂草、苍耳等
DB50	阿荣旗西	菜地	48.03°	123.29°	234	玉米、马铃薯、黄豆、番茄、禾本科杂草、藜科等
DB52	扎兰屯东	混作田	47.97°	122.98°	322	黄豆、蒙古栎、榛、禾本科杂草、菊科、藜科等
DB54	扎兰屯北	玉米地	48.12°	122.54°	427	玉米、南瓜、向日葵、藜科、蒿属、蒙古栎等
DB56	扎兰屯北	菜地	48.48°	122.17°	540	马铃薯、黄豆、菊科、蒿属、蓼科、禾本科杂草等
DB58	扎兰屯北	菜地	48.71°	121.98°	757	豆类、马铃薯、藜科、蒿属、禾本科杂草、菊科等
DB60	博克图北	菜地	48.85°	121.58°	931	马铃薯、白萝卜、桦、禾本科杂草、蒿属、藜科等
DB61	博克图北	小麦地	48.83°	121.39°	820	小麦、柳兰、莎草科、菊科、禾本科杂草、蒿属等
DB63	乌努尔德	小麦地	48.97°	121.18°	761	小麦、马铃薯、桦、燕麦、禾本科杂草、莎草科等
DB65	牙克石东	菜地	49.24°	120.75°	741	黄豆、白萝卜、马铃薯、禾本科杂草、菊科等

最高可达 71.5%，主要花粉类型有松属(26.9%)、落叶松属(1.5%)、栎属(0.9%)、桦属(0.9%)等；杨属、榆属、椴树属(*Tilia*)、白蜡属(*Fraxinus*)、漆树科(*Anacardiaceae*)、柳属等类型常见，但含量一般不高。灌木花粉含量多低于 1%，主要有胡颓子科(*Elaeagnaceae*)、蔷薇科(*Rosaceae*)等。草本花粉百分比平均为 59.7%，最高可达 95.6%，常见花粉类型有禾本科(*Cereal*, 34.4%; *Poaceae*, 8.7%)、菊科(*Compositae*, 3.5%)、蒿属(1.9%)、藜科(7.1%)、蓼科(*Polygonaceae*, 0.4%)、莎草科(*Cyperaceae*, 1.4%)、香蒲(0.5%)、蕨草属、荨麻科(*Urticaceae*)、毛茛科(*Ranunculaceae*)、十字花科(*Cruciferae*)等。蕨类孢子平均含量为 8.6%，最高可达 40.4%，以三缝孢(*Trilete spore*)、中华卷柏(*Selaginella sinensis*)为主。在海拔较低的一些农田样品中发现了数量较多的环纹藻(*Concentricystes*)(图 2)。

3.1 不同地貌单元农田孢粉组合的对比

为了探讨地貌对孢粉组合的影响，根据样品所处位置将所有农田样品分为 3 组，即平原区(28 个，海拔 0~200 m)、高平原丘陵区(10 个，海拔 200~500 m)和山区(6 个，海拔 500 m 以上)。不同组之间孢粉组合特征如下：

平原区乔木花粉含量平均为 28.5%，主要由松属(25.9%)、杨属(0.8%)、栎属(0.6%)、桦属(0.6%)、榆属(0.2%)等科属组成；灌木花粉(0.3%)含量很低，以蔷薇科为主；草本植物花粉占绝对优势(60.6%)，人工禾本科(41.6%)、杂草类禾本科(7.6%)、藜科(3.6%)、菊科(3.0%)含量较高，莎草科(1.3%)、蒿属(1.3%)、香蒲科(0.9%)等也较为常见；蕨类孢子以三缝孢(8.2%)和中华卷柏(1.8%)为主。

高平原丘陵区乔木花粉类型与平原区相似，但百分比(26.5%)略有下降；灌木(0.1%)百分比略低于平原区，类型也更为单调，几乎均为蔷薇科；草本植物花粉类型及含量与平原区相近，但人工禾本科(53.6%)含量明显高于平原，也高于山地；杂草类禾本科(4.0%)较平原区有小幅下降；蕨类孢子含量为 5.3%，较平原区也略有下降，其中三缝孢占 4.17%，中华卷柏为 0.6%。

山区(大兴安岭)乔木花粉含量(41.7%)明显高于平原和高平原丘陵区，出现大量平原和高平原丘陵区未出现的落叶松属花粉(13.0%)，桦属(2.8%)、栎属(1.8%)等也较平原和高平原丘陵区有一定程度增加，

但松属花粉含量较其他两区有所下降(23.3%)；草本植物花粉含量(52.6%)也较其他两区略有下降，以人工禾本科(11.2%)含量下降最为明显，但杂草类禾本科(15.9%)、菊科(7.3%)、藜科(4.9%)、蒿属(3.3%)、旋花科(*Convolvulaceae*, 2.3%)、十字花科(1.5%)、葫芦科(*Cucurbitaceae*, 0.3%)、石竹科(*Caryophyllaceae*, 0.4%)等均有所增加；蕨类孢子含量(5.4%)与高平原丘陵区类似，中华卷柏含量极低。

3.2 不同土地利用类型孢粉组合特征的对比

为更好地了解人类活动的影响，同一地貌单元不同土地利用方式，如农田和荒地孢粉组合是否存在差异，本文选取样点中所有荒地及其周边农田样品进行对比，分别是：(DB03, DB04), (DB05, DB06), (DB07, DB08), (DB15, DB16), (DB20, DB21), (DB24, DB25), (DB30, DB31), (DB35, DB36)和(DB37, DB38)，共计 9 组。

农田和荒地孢粉组合对比表明：农田孢粉组合以乔木(25.1%)和草本(63.3%)为主。松属(23.06%)为乔木花粉的主要成分，榆属、桦属、杨属等常见；灌木花粉以蔷薇科(0.26%)为主；草本花粉以人工禾本科占主要优势(49.9%)，杂草类禾本科(5.0%)、菊科(2.1%)、藜科(2.5%)、蒿属(1.5%)等含量均不高；蕨类孢子以中华卷柏(2.0%)和三缝孢(8.9%)为主。荒地样品主要花粉类型与农田一致，但不同类型花粉含量有一定区别，其中乔木花粉(如松属、桦属、栎属)比例明显增加(39.4%)，草本花粉有所降低，其中人工禾本科含量(6.0%)明显降低，而杂草类禾本科(12.4%)、藜科(25.0%)、蒿属(3.7%)等花粉含量显著增加(图 3)。

对选取的 9 组 18 个农田和荒地样品孢粉组合进行聚类分析，结果显示农田样品花粉组合特征明显不同于荒地，可以较好地将这两种类型区分开来(图 4)。

3.3 PCA 和 RDA 分析结果

(i) 主成分分析。为了解人工植被孢粉组合对植被和气候的反映程度，选取研究区内主要孢粉类型(共计 22 个，含量总计>98%)作为参数进行 PCA 和 RDA 分析。

PCA 分析结果显示，第一、第二主轴的特征值分别为 0.28 和 0.14，第三主轴和第四主轴的特征值为 0.12 和 0.09。图 5(a) PCA 排序结果显示，栎属、桦属、

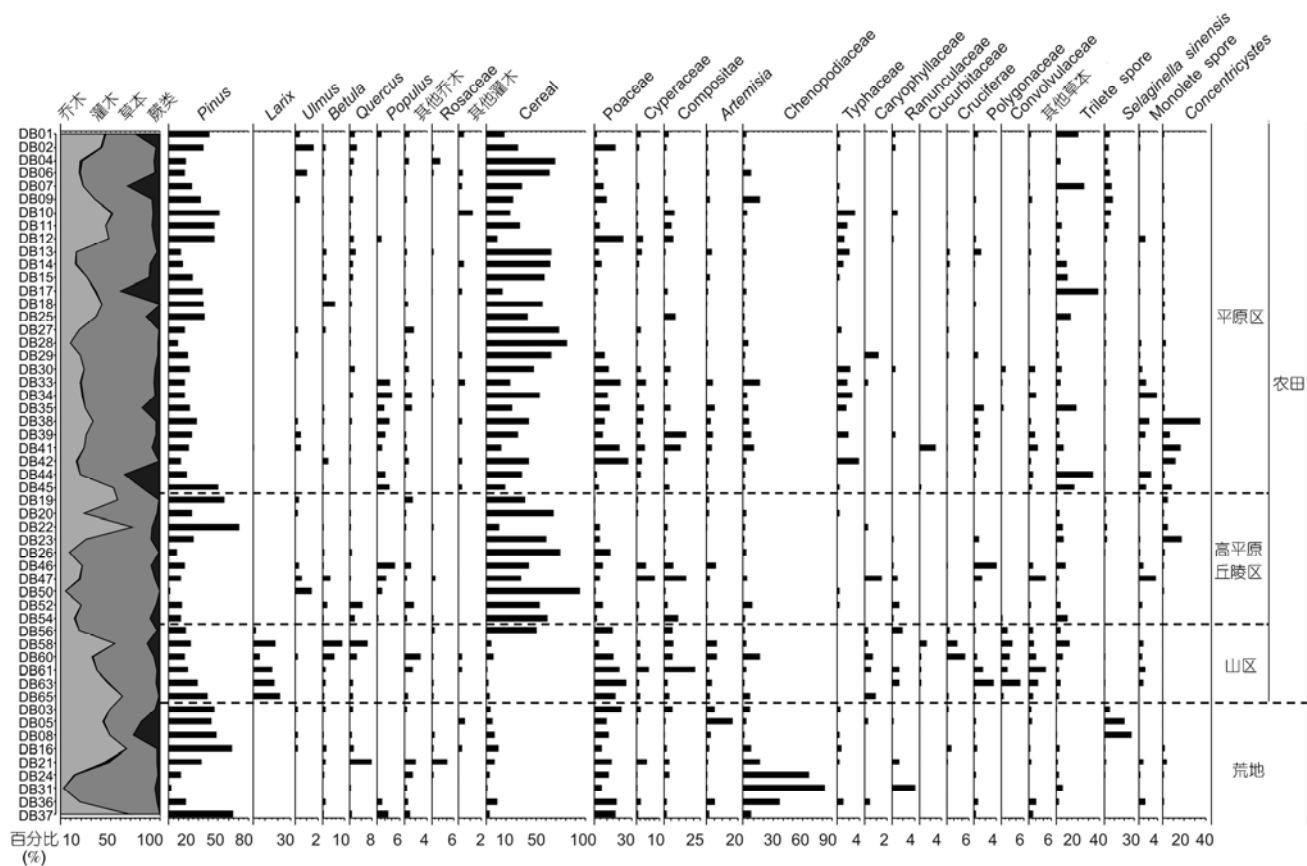


图 2 主要孢粉类型百分比图

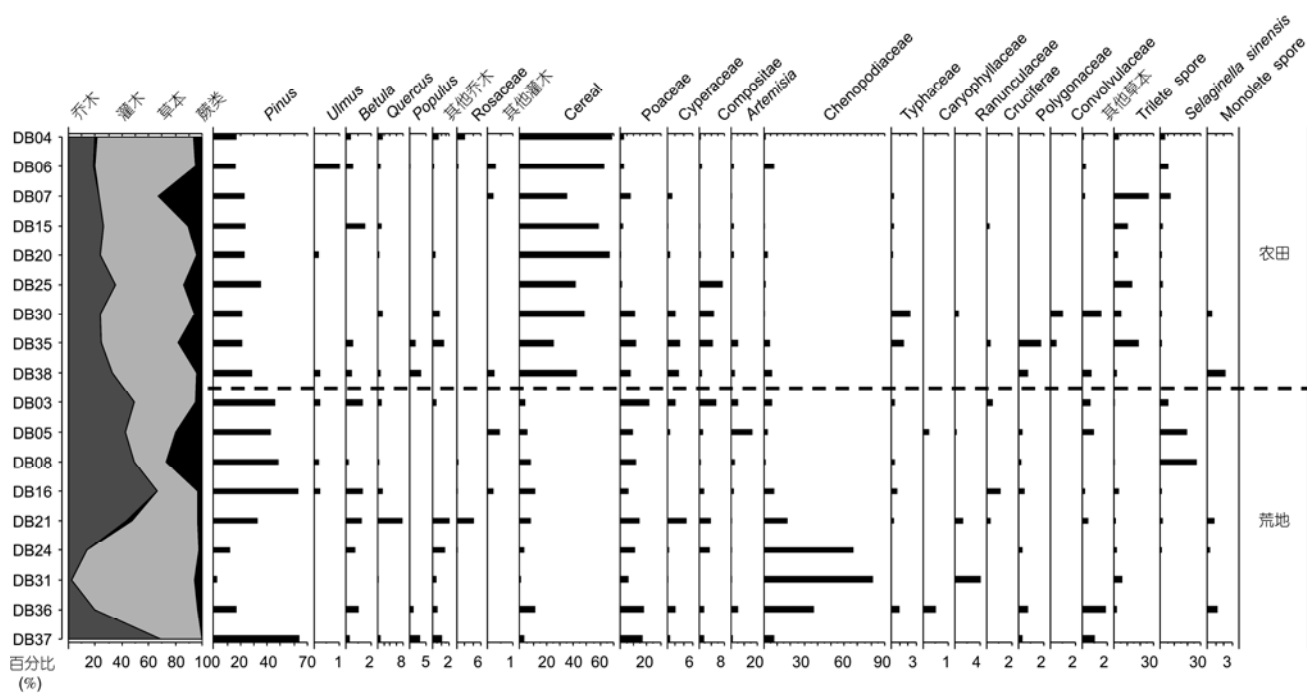


图 3 农田和荒地样品孢粉组合对比

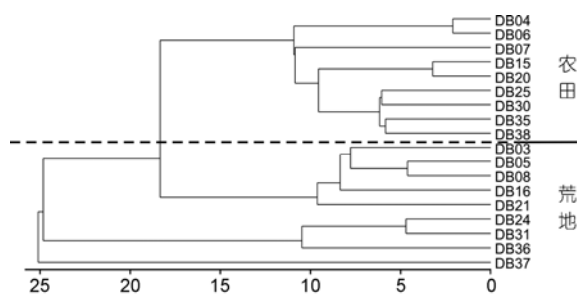


图4 农田和荒地样品聚类结果

落叶松属等主要乔木类型及十字花科、菊科、毛茛科、莎草科等杂草类型主要分布在第一象限；松属、蔷薇科、藜科、杂草类禾本科等荒地主要花粉类型主要分布于第二象限；人工禾本科、榆属、香蒲科、中华卷柏等平原常见类型主要在第三、第四象限。

图5(b)是所有样品的排序结果，根据每个样品的分布位置，可以将53个样品划分为3组(组1、组2和组3)：第一组包含34个样品，主要是平原区、高平原丘陵区的农田样品，主要分布于X轴负方向；第二组包括5个样品，均为大兴安岭山地样品，分布于第一象限X轴与Y轴正方向；第三组包括9个样品，主要为荒地样品，分布于第二象限X轴正方向与Y轴负方向。样点孢粉组合排序结果与图5(a)主要孢粉类型排序结果相近。PCA样点排序可以很好地将农田样品和荒地样品分开，与聚类分析结果一致(图4)，也可以将山地农田样品与平原和高平原丘陵区农田样品区分开。

(ii) 冗余分析。为了更好地了解东北地区人工扰动植被能否反映气候变化特征，本文以研究区年平均气温、最热月气温和年平均降水量为主要气候因子参数，对所有样品进行了RDA分析，结果显示第一、第二轴的贡献率最高，分别为0.45和0.18，说明孢粉组合主要受第一轴和第二轴所代表的环境因子控制(表2)。其中，轴1样品得分值与年均温和最热月温度均在0.01水平上呈显著负相关，相关系数分别为-0.73和-0.81；轴2样品得分值与年均降水量在0.01水平上显著相关，相关系数为0.48。

4 讨论

4.1 不同地貌单元孢粉组合与植被

结果分析表明，不同地貌单元农田孢粉组合具有一定的相似性，如主要花粉类型一致，乔木花粉百

分比多高于30%，农田人工禾本科含量多在40%以上等；但不同地貌单元间也存在一定差别。山区乔木花粉含量(41.7%)明显高于平原(28.5%)和高平原丘陵区(26.5%)，桦属、栎属、落叶松属等乔木花粉的含量随海拔升高逐渐增多；杂草类禾本科(15.9%)及菊科、蒿属等常见杂草植物在林下及荒坡生长较多，花粉含量较平原(7.6%)和高平原丘陵区(4.0%)增加明显；不同区域人工禾本科花粉含量差别较大，山区人工禾本科含量明显低于其他两个地貌单元，这可能主要与种植作物种类以及农田面积密切相关；同时，在湿润的水稻田中也常发现香蒲科花粉；杨属和榆属花粉仅出现在平原和高平原丘陵地区，应与杨树和榆树均为北方常见绿化行道树，道路和村庄周围多有栽植有关。土地经人工扰动后往往最先清除草本植物和灌木进行农作物耕作，因此孢粉组合中，乔木花粉组合对当地植被反映程度较好，例如，落叶松属花粉只出现在山区样点，且山区松属、桦属、栎属含量较高，没有榆属及杨属等平原区常见乔木花粉，这与当地植被组成基本一致。

4.2 不同土地利用类型孢粉组合与人类活动

同一地区农田与荒地孢粉组合对比表明，农田中草本花粉含量多高于荒地，主要为人工禾本科(均值达49.9%，25.4%~68.6%)，其他种类含量均较低；荒地中禾本科花粉类型相似，但种类多于农田，人工禾本科花粉含量明显下降(平均仅为6.0%，0.73%~11.5%)，藜科花粉含量较农田(平均2.5%，0.3%~7.6%)显著提高(平均达25%，0.86%~81.3%)；蒿属、菊科、莎草科等含量也高于农田。在野外采样调查时也发现，适应性较强的藜科植物在路旁和荒地边缘分布较多，应该是造成荒地中藜科花粉显著高于农田的主要原因之一。显见，在人类活动影响下农田植被较为单一，荒地植被种类相对更加丰富。

课题组对西北地区^[16]、华北中南部及华中北部^[18]以及亚热带稻作区^[15]的研究也发现，耕地与邻近荒地之间孢粉类型较为相似，农田孢粉组合以禾本科谷物等人工作物为主，荒地中蒿属、藜科等花粉百分比相对于农田增加明显。但不同区域间农田与荒地禾本科花粉百分比变化幅度存在明显差异，例如，在亚热带稻作区的研究中^[15]，水稻田外5~10 m的旱地表土中水稻型花粉含量普遍比稻田内低约20%；华北中南部及华中北部^[18]耕地中禾本科作物花粉比荒

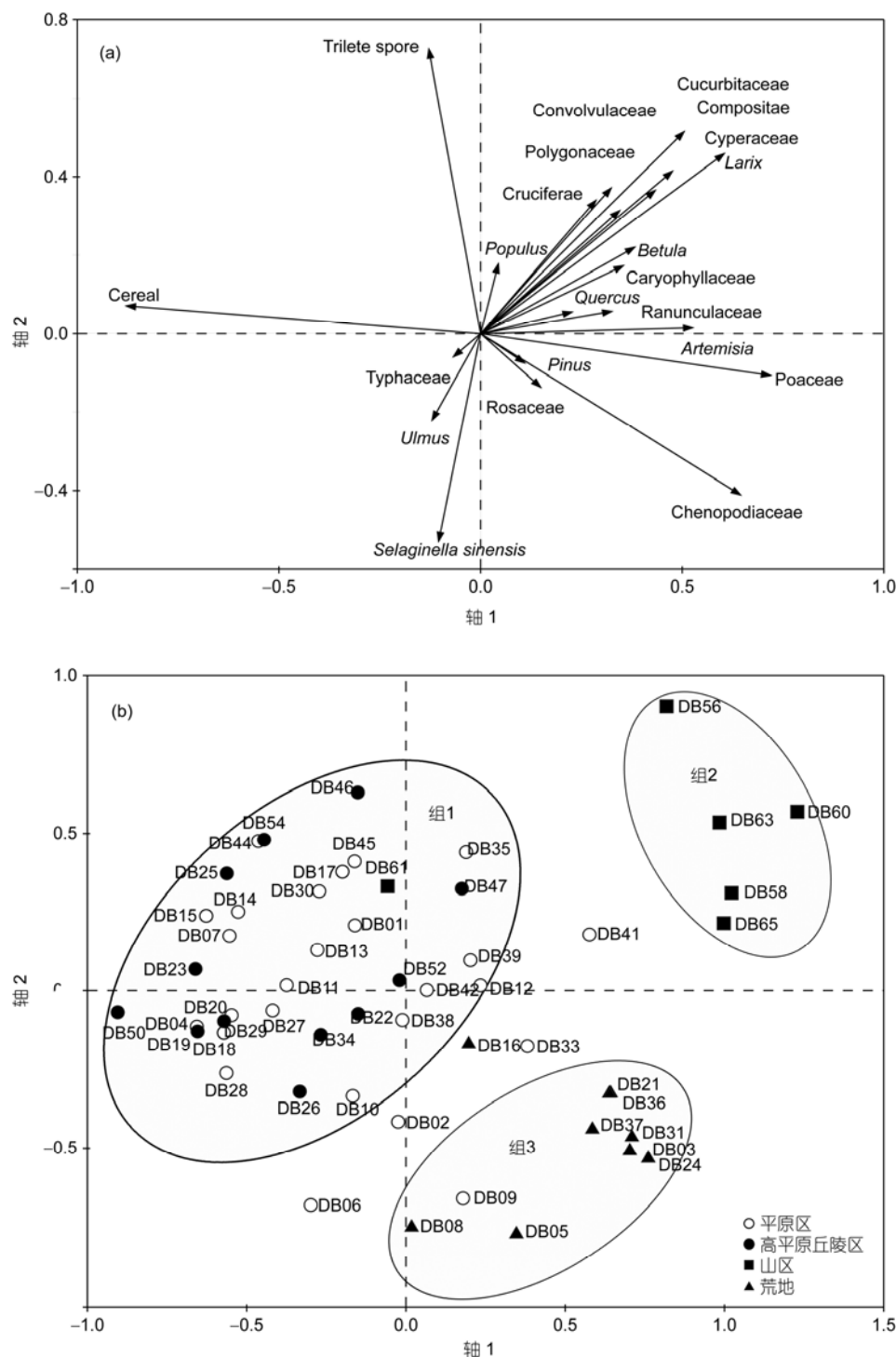


图 5 主要孢粉类型及样点孢粉组合 PCA 排序示意图
(a) 主要孢粉类型 PCA 排序示意图; (b) 样点孢粉组合 PCA 排序示意图

地高出 15%左右; 西北地区农田中人工禾本科含量比农田近旁荒地高约 11%^[16]; 东北地区农田禾本科平均比近旁荒地高出 43.82%。可见, 亚热带稻作区

和东北地区不同土地利用类型中人工禾本科花粉含量差异较大, 与西北地区差异较小, 推测应与区域间种植规模有关。西北地区土地贫瘠、气候相对干燥,

表 2 RDA 分析结果

参数	轴 1	轴 2	轴 3	轴 4
特征值	0.45	0.18	0.03	0
年均温	-0.73	0.35	-0.01	0
年均降水量	-0.40	0.48	0.31	0
最热月温度	-0.81	0.03	-0.02	0

农作物生长所需的水分及气候条件并不优越，谷物的种植规模相对较小，因而农田中人工禾本科较东部地区花粉含量较低，且不同土地利用类型中人工禾本科花粉差值较小。

研究区不同作物类型农田花粉组合对比显示，花粉组合也存在有差异。谷物农田以人工禾本科为主，菜地花粉组合中的葫芦科、十字花科等花粉类型一般高于其他农田，但并没有出现特别明显的高值，推测与部分蔬菜如萝卜、圆白菜等常在花期前收割食用有关^[17,31]，也与部分蔬菜如马铃薯、辣椒、番茄、西葫芦、菜豆等花粉产量低有关^[32]，而菜地一般面积小可能也是原因之一。安阳地区^[31]、河北中南部地区^[17]和华北中南部及华中北部^[18]的研究表明，一些与蔬菜相关花粉仅出现在其生长的农田中，如锦葵科花粉一般只出现在棉田中，茄科花粉在烟草地中不足 1%，豆科花粉在花生地和菜豆地中的含量也较低^[18]，菜地十字花科花粉含量一般高于其他土地利用类型^[17,31]。因此，利用化石孢粉检测历史时期人类活动，需要密切关注与农作物有关的花粉类型，这些花粉含量可能较低，但可以反映人类活动尤其是农业活动的状况。

研究区农田与荒地孢粉浓度对比显示，农田孢粉浓度与荒地孢粉浓度也存在明显差异，农田孢粉浓度(3909 粒/g)远远小于荒地(平均 15074 粒/g，最高 87446 粒/g)(图 6)。这可能主要受优势植物花粉产量及农耕方式影响，荒地中占优势的藜科等草本作物花粉产量较高^[30,33]，而农田中占绝对优势的禾本科植物花粉产量相对较低^[28]，且耕作过程中因人为去除田间杂草导致除农作物外的其他草本植物很少生长，降低了孢粉浓度。此外，孢粉保存环境的差异也会对孢粉浓度产生一定影响，如土地翻耕会导致农田表层土壤氧化作用增强，施肥和喷撒农药会改变土壤性质，都可能对孢粉保存产生不利影响，进而降低表土中的孢粉浓度^[18]。对比其他地区结果(表 3)发现，尽管不同地区作物类型、耕作习惯和人类活动

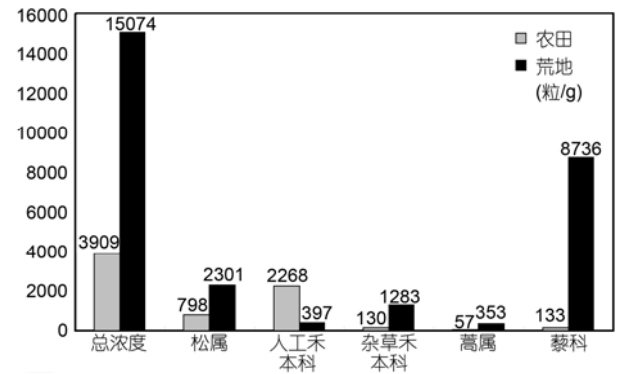


图 6 农田和荒地主要花粉种类浓度对比

强度等因素不同，荒地和农田孢粉浓度均存在一定差异，并且所有地区荒地的孢粉浓度均高于农田。表明人类活动是农田孢粉浓度降低的主要原因，孢粉浓度可以作为指示人类活动的重要指标之一。

4.3 人工扰动植被孢粉组合特征对人类活动的指示意义

为了更好地理解东北地区人工扰动植被孢粉组合特征及对人类活动的响应程度，将本研究结果与河北中南部地区、安阳地区以及华北中南部及华中北部的农田研究结果进行了对比(表 4)。对比结果发现：

中国北方不同区域农田孢粉组合存在一些共同特征：(1) 海拔 0~200 m 范围内的农田中，乔木花粉含量多在 30%左右，且以松属为主；草本植物花粉含量多在 50%以上，人工禾本科含量多高于 20% (19.9%~41.6%)，十字花科(0.1%~15.5%)、蒿属(1%~15.8%)和杂草类禾本科(5.0%~7.6%)等花粉类型常见。(2) 海拔 200~500 m 范围内，乔木花粉随海拔升高含量略有增加；人工禾本科和十字花科等花粉类型随海拔升高呈现降低趋势；而蒿属、藜科和杂草类禾本科花粉含量随海拔逐渐增加，一定程度上反映了人类活动强度随海拔升高的逐渐降低。(3) 海拔 500~1000 m 范围内，乔木花粉数量随海拔升高明显增加(均>40%)，乔

表 3 不同研究区荒地和农田孢粉浓度(粒/g)^{a)}

	东北	河北	西北	华北中南部及华中北部
荒地	15074	—	32704	26333
农田	3288	3612	7227	6943

a) 河北地区取样点均为农田，无荒地数据以供对比，以“—”表示；数据参考文献[16~18]

表 4 不同区域不同海拔范围内农田孢粉组合(%)对比^{a)}

	高度变化(m)	乔木	灌木	草本	松属	蒿属	藜科	十字花科	人工禾本	杂草禾本	中华卷柏
东北	0~200	28.5	0.3	60.6	25.86	1.3	3.6	0.15	41.6	7.6	1.8
	200~500	26.5	0.1	68.0	23.5	1.3	2.0	0.02	53.6	4.0	0.6
	500~1000	41.7	0.3	52.6	23.3	3.3	5.0	1.48	11.2	15.9	0.1
河北	0~200	29.9	1.2	60.6	22.6	2.4	19.7	2.6	19.9	6.9	6.9
	200~500	48.4	1.8	38.3	36.1	3.8	5.6	0.3	18.8	4.8	11.1
	500~1000	49.5	2.7	40.9	44.4	3.9	11.4	0.4	15.2	4.9	6.5
安阳	0~200	15.9	1.3	71.4	13.7	15.8	1.7	8.8	22.5	5.3	9.2
	200~500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	500~1000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
华北中南部 及华中北部	0~200	31.6	1.0	57.4	23.2	1.0	2.5	15.5	25.0	5.0	7.0
	200~500	37.5	1.1	55.5	25.8	2.6	14.8	6.6	15.9	5.2	4.2
	500~1000	41.7	2.8	39.5	27.9	6.2	7.4	0.4	11.4	4.5	14.6

a) 安阳地区取样点海拔均在 200 m 以下, 故海拔 200 m 以上无数据以供对比, 以“—”表示; 数据参考文献[17,18,31]

木花粉类型也明显增多; 人工禾本科花粉含量通常不足 15%, 表明区域性自然植被花粉类型逐渐占据孢粉组合的主要地位, 人类活动影响强度明显下降。

中国北方不同地区农田人工禾本科花粉含量表现出一定差异, 如东北地区海拔 500 m 以下区域的人工禾本科花粉含量明显高于中国北方其他地区, 多数样品高于 40%, 而其他地区农田人工禾本科花粉多低于 30%。区域间气候差别应是原因之一, 华北地区气候干旱, 耕作多以旱作为主, 土壤氧化作用强烈; 而东北地区相对较湿润, 土壤氧化作用较弱, 这可能导致了东北地区农田人工禾本科花粉较华北地区高。另一方面, 可能与该区域长期以种植玉米、小麦等谷物为主, 且种植面积较大有关。华北及华中等地区气候较温暖, 除种植禾本科谷物外, 还大面积种植棉花、油菜等农作物, 其他作物花粉势必会降低禾本科花粉的相对比例。因此, 区域作物种类、种植方式和耕作技术的差异都会对农田花粉组合产生影响, 农作物花粉组合特征及含量一定程度上可以反映人类的耕作习惯。

在对比中还发现, 东部地区不同区域人工扰动植被孢粉组合也有一定差异: 东北地区样点周围多以谷物种植为主, 孢粉组合以人工禾本科和区域性植被孢粉为主。河北地区人工禾本科和藜科较多, 卷柏等蕨类孢子百分比也高于其他区域。安阳地区由于人类长期活动较为频繁, 乔木花粉百分比比其他区域低, 草本花粉以人工禾本科和十字花科蔬菜为主, 蒿属杂草较多。华北中南部及华中北部草本花粉

主要为人工禾本科、十字花科以及蒿属、藜科、禾本科杂草等。可以看出, 人工扰动植被孢粉组合受农作物种类和人类活动强弱等因素影响, 存在明显差异。

4.4 环纹藻的生态意义

东北地区农田孢粉组合中出现了大量环纹藻孢子(图 2), 并且环纹藻分布表现出一定的区域特征: 平原样点中环纹藻含量平均为 3.4%, 最高可达 33.78%; 海拔 500 m 以上的山区样品中, 几乎没有环纹藻出现。一般认为环纹藻是一种淡水藻类, 指示湿润的环境条件, 其生态幅较宽, 在冷湿气候条件下的湖沼中也能够生长^[34,35]。从本文分析结果看, 环纹藻较多的样点周围有湿地保护区分布或者距离湖泊较近, 农田灌溉时, 如果从邻近的湖泊和湿地引水, 则可能会将一部分环纹藻孢子带入了表土中; 农田环境比荒地湿润, 季节性的湿生环境比荒地更适宜环纹藻生长, 湿润的环境可能是导致农田环纹藻数量较多的另一个原因; 此外, 历史时期这一区域遍布湿地和沼泽, 适宜环纹藻生长, 现在一部分湿地被人类改造成耕地, 耕作过程中是否将以前保留在土壤中的环纹藻带到地表, 有待于进一步研究和证实。

4.5 孢粉百分比及组合与气候的关系

气候因素是制约植物尤其是农作物生长和耕作方式的重要因素。从本研究看, 人工扰动孢粉组合特征也可以反映气候因素的制约和影响。由于气候因素的差别, 以山区为例, 耐寒蔬菜种植明显多于谷物

粮食作物, 孢粉组合也反映出人工禾本科百分比骤降而蔬菜类花粉增多这一事实; 鉴定结果也显示, 落叶松属等喜寒花粉仅出现在山区, 且含量较高; 松属、栎属、桦属等山区常见植物花粉数量较其他区域均有不同幅度地增多, 反映出山区气候较其他区域寒冷且乔木数量较多。平原及丘陵区因气候比较温暖, 榆属等喜暖乔木数量较多, 而喜寒的落叶松、桦等数量极少或不出现。前文 RDA 分析结果显示, 研究区人工和人工扰动植被花粉组合与年均温和最热月温度呈显著负相关, 相关系数分别达-0.73 和-0.81, 与年均降水量也显著相关, 相关系数为 0.48。表明研究区内孢粉组合主要受温度变化影响, 一定程度上也受年降水量变化的影响。因此, 本文认为, 人工和人工扰动植被孢粉组合一定程度上仍可以较好地反映区域气候变化。

5 结论

(1) 东北地区地处森林植被带, 人工扰动植被孢粉组合特征显示所有样点表土乔木花粉含量均高于 30%, 孢粉组合中主要孢粉类型与当地植被中主要类型一致, 表明人工扰动植被孢粉组合可以反映区域植被特征。

(2) 不同地貌单元农田孢粉组合存在一定差异, 山区乔木含量最高且乔木花粉类型最为丰富; 高平原丘陵区人工禾本科含量最高; 平原区松属含量最

高, 环纹藻数量较多。同一区域内, 农田与荒地孢粉组合差别明显, 荒地孢粉类型丰富, 孢粉浓度较高 (平均约为 15074 粒/g, 最高 87446 粒/g), 人工禾本科数量低于 10%; 近旁的农田孢粉类型数量较少, 孢粉浓度较低, 平均仅为 3910 粒/g, 人工禾本科平均 49.9%。主成分分析和聚类分析能够将荒地和农田、山地农田与高平原丘陵区和平原区农田区分开。人类活动是农田孢粉浓度降低的主要原因, 孢粉浓度可以作为指示人类活动的重要指标之一。利用化石孢粉检测历史时期人类活动尤其是农业活动的状况, 需要密切关注与农作物有关的花粉类型。

(3) 人工扰动或人工植被仍可以较好地反映区域气候变化, RDA 分析结果显示, 东北地区孢粉组合与年均温和最热月温度呈显著负相关, 相关系数为-0.73 和-0.81, 和降水也有一定的相关性, 相关系数为 0.48。

(4) 与中国北方几个区域孢粉组合对比结果表明, 主要花粉类型和含量与纬度及海拔的变化密切相关。不同植被带的人工扰动植被孢粉组合受区域植被、农作物种类和人类活动强弱等因素影响, 存在着明显差异。人工禾本科和十字花科花粉由山区向平原区逐渐增高, 反映人类活动强度随海拔降低而逐渐增强的趋势。而人工禾本科在不同区域农田中含量和浓度差异明显, 则可能是由耕作习惯和气候差异等因素造成的。

参考文献

- 1 孙雄伟, 夏正楷. 河南洛阳寺河南剖面中全新世以来的孢粉分析及环境变化. 北京大学学报(自然科学版), 2005, 41: 289-294
- 2 许清海, 李润兰, 朱峰, 等. 华北平原冲积物孢粉沉积相研究. 古地理学报, 2001, 3: 55-63
- 3 许清海, 肖举乐, 中村俊夫, 等. 孢粉记录的岱海盆地 1500 年以来气候变化. 第四纪研究, 2004, 24: 341-347
- 4 王学丽, 李月丛, 许清海, 等. 山西西部吕梁山北段现代花粉散布特征. 生态学报, 2008, 28: 3682-3690
- 5 张玉兰. 上海东部地区全新世孢粉组合及古植被和古气候. 古地理学报, 2006, 8: 35-41
- 6 朱诚, 马春梅, 张文卿, 等. 神农架大九湖 15.753 ka BP 以来的孢粉记录和环境演变. 第四纪研究, 2006, 26: 814-826
- 7 秦大河. 中国气候与环境演变(上卷): 气候与环境的演变及预测. 北京: 科学出版社, 2005. 485-506
- 8 河南省文物考古研究所. 舞阳贾湖(下卷). 北京: 科学出版社, 1999. 897-903
- 9 张文绪, 袁家荣. 湖南道县玉蟾岩古栽培稻的初步研究. 作物学报, 1998, 24: 416-420
- 10 Edwards K J, MacDonald G M. Holocene Palynology II: Human influence and vegetation change. Prog Phys Geogr, 1991, 15: 364-391
- 11 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 Palynol, 2005, 135: 13-39
- 12 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). Veget Hist Archaeobot, 2005, 15: 151-168
- 13 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. Holocene, 2006, 16: 91-103
- 14 刘鸿雁. 第四纪生态学与全球变化. 北京: 科学出版社, 2002. 108-150

- 15 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: 262–272
- 16 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. 古地理学报, 2009, 11: 946–956
- 17 庞瑞滔, 许清海, 丁伟, 等. 河北省中南部农田孢粉组合特征. 地理学报, 2010, 65: 1345–1354
- 18 丁伟, 庞瑞滔, 许清海, 等. 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. 科学通报, 2011, 56: 839–847
- 19 朱泓. 中国东北地区的古代种族. 文物季刊, 1998, 1: 54–64
- 20 《内蒙古森林》编辑委员会. 内蒙古森林. 北京: 中国林业出版社, 1990. 4–372
- 21 《辽宁森林》编辑委员会. 辽宁森林. 北京: 中国林业出版社, 1990. 8–120
- 22 《吉林森林》编辑委员会. 吉林森林. 长春: 吉林科学技术出版社, 1988. 16–347
- 23 《黑龙江森林》编辑委员会. 黑龙江森林. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1993. 7–305
- 24 中国科学院内蒙古宁夏综合考察队. 内蒙古植被. 北京: 科学出版社, 1985. 1–466
- 25 Andersen S T. Identification of wild grass and cereal pollen. Danm Geol Under, Arbog, 1978. 69–92
- 26 蓝盛银, 徐珍秀. 植物花粉剥离观察扫描电镜图解. 北京: 科学出版社, 1996. 11–20
- 27 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, 2005, 25: 585–597
- 28 王琰瑜, 宋长青, 孙湘君. 内蒙古中部表土花粉研究. 植物学报, 1996, 38: 902–909
- 29 李月丛, 许清海, 王学丽, 等. 中国北方森林群落现代花粉与植被和气候的关系. 地理学报, 2008, 63: 945–957
- 30 许清海, 李月丛, 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, 2005, 24: 394–402
- 31 王学丽, 李月丛, 许清海, 等. 安阳地区不同农业单元表土花粉组合及空间分异. 科学通报, 2010, 55: 1914–1923
- 32 张丽艳, 许清海, 李月丛, 等. 贺兰山表土花粉与花粉通量对比研究. 地理与地理信息科学, 2007, 23: 102–106
- 33 桑艳礼, 马玉贞, 高尚玉. 甘肃兴隆山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
- 34 柯曼红. 黄土高原区环纹藻化石的发现及其意义. 西安地质学院学报, 1995, 17: 90–93
- 35 张玉兰, 张敏斌. 海洋沉积物中淡水藻类的发现及其古环境意义. 海洋通报, 2002, 21: 36–40