科学通报 2010 年 第 55 卷 第 19 期：1914 ~ 1923
论 文 www.scichina.com csb.scichina.com
《中国科学》杂志社
SCIENCE CHINA PRESS

安阳地区不同农业单元表土花粉组合及空间分异

王学丽[①②], 李月丛[①②*], 许清海[①②], 曹现勇[①②], 张丽艳[①②], 田芳[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: lyczh@sohu.com

2009-04-10 收稿, 2009-06-10 接受
国家自然科学基金重点项目(40730103)、国家自然科学基金(40571166, 40672107)、教育部博士点专项科研基金(20050094004)、河北省自然科学基金(D2008000186, D2009000300)、河北省博士基金(06547006-3)、河北省高校重点学科建设项目及加拿大社会和人文科学基金(410-2006-2020)资助项目

摘要 花粉分析是目前定量重建过去植被和气候变化、识别人类活动信息最佳和可能的方法. 以安阳地区为例, 通过不同农业单元表土花粉组合特征研究, 揭示我国人类活动影响下花粉组合特征和空间分异规律, 以便通过花粉记录提取更多的人类活动和气候变化信息. 安阳市周边农田菜地、荒地林地和油菜(菜籽)地等不同农业单元 122 个表土样品花粉分析结果表明: 安阳地区表土花粉组合中草本花粉含量较高, 平均为 73%, 以禾本科、蒿属、藜科和十字花科为主; 其次为乔木花粉, 百分比平均为 18%, 以松属和榆属为主; 灌木花粉和蕨类孢子数量较少, 花粉组合与植被组成基本一致. 不同植被单元花粉组合差异明显, 农田及多数菜地禾本科花粉含量较高, 平均为 27%, 经对比, 农田中禾本科花粉主要为玉米和小麦花粉; 荒地及林地乔木花粉及蒿属花粉含量较高, 乔木平均为 20%, 蒿平均为 19%; 油菜(菜籽)地十字花科花粉含量较高, 平均为 70%, 经鉴定十字花科花粉主要为油菜(菜籽). 根据 PCoA 排序分析, 可以大致将农田菜地、荒地林地和油菜(菜籽)地区分开. 主要花粉类型中, 松属和蒿属主要分布在安阳西部, 与花粉来源地一致; 禾本科主要分布在安阳市东部, 与农田在东部较多有关; 藜科主要分布在市区和主干道周围等人类活动频繁地带, 十字花科主要分布在市区周围及西北部菜地较多的区域.

关键词
安阳
农业单元
表土样品
花粉组合
空间分异

我国已开展了大量表土花粉研究, 包括森林、草原及荒漠[1~8], 并于 1998 年建立了中国花粉数据库[9,10]. 但已有的表土花粉研究样点都尽量选择人类活动影响小的自然植被, 这对建立花粉与植被和气候的关系无疑是重要的. 但我国是世界农业起源地之一, 原始农业在 10000 多年前已开始出现[11], 长久大规模的农垦和人类活动极大地改变了我国大部分地区的原始生态系统, 人工植被或人工扰动植被成为我国中、东部地区植被的主要表现形式, 而且也将是今后一定时期内的主要植被特征. 辨识这些植被类型的花粉组合特征, 不仅可以更多地检测地层中人类活动的信息, 追溯农业发生的证据和发展过程, 还可以为预测未来植被和气候变化提供更多的基础数据. 早在 20 世纪 40 年代, 欧洲和美洲学者就开始注意人类活动孢粉记录研究, Firbas[12], Iversen[13]根据谷物花粉和乔木花粉的变化来探讨人类活动的影响; Berglund[14], Kvamme[15], Kaland[16], Hicks[17], Carpelan 等人[18]利用孢粉来研究不同文化景观单元上的人类活动情况. 20 世纪 80 年代, Dimbleby[19], Behre[20], Birks 等人[21]对人类活动的孢粉指示进行了系统的总结, 并出版了专著, 也引起了孢粉学者对人类活动更广泛的关注. 近年来, Van der Linden 等人[22]、Donders 等人[23]、Poska 等人[24]、Kalis 等人[25]、Hjelle 等人[26]、Court-Picon 等人[27]和 Buttler 等人[28]也更多地关注人

英文版见: 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 Sci Bull, 2010, 55: 544—554, doi: 10.1007/s11434-010-0480-0

类活动影响下的植被变化. 但我国目前关于人工或人工扰动植被花粉研究还很不足, 仅见 Liu 等人[29]对东亚不同植被盖度和不同退化程度草原花粉组合特征的研究, 发现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; 邓韫等人[30]对我国东部尘土样品进行了花粉分析, 发现中国东部尘土花粉组成以草本为主; 李宜垠等人[31]对人类活动的孢粉指示进行了研究. 由于现代人工或人工扰动植被花粉研究的不足, 使得地层中人类活动的辨识能力有限.

安阳地区是殷墟遗址所在地, 该地区自晚更新世末期以来就已经进入农业社会[32~34], 自然环境受人类活动影响深远, 已有大量的考古学成果供参考, 但利用孢粉学研究能够辨识出人类活动有限, 孢粉学研究与考古学等研究存在很多的不和谐. 因此, 本文以安阳地区为主要研究对象, 进行不同农业单元较高密度空间分布的表土花粉研究, 意在认识人类活动影响下不同农业单元花粉的组合特征, 从而为进一步辨识地层花粉组合中人类活动的影响提供现代过程依据.

1 自然地理概况

(ⅰ) 地理位置. 采样点位于安阳市周围, 介于北纬 36°47′~36°12′18″, 东经 114°07′40″~114°35′35″之间. 地势西高东低, 西部为太行山区, 东部为平原区. 海拔 1632~48.4 m[35].

(ⅱ) 气候特征. 安阳地处北半球暖温带, 属大陆性季风气候, 四季分明, 年平均气温 13.6℃, 7 月份平均气温 27.2℃, 1 月份平均气温–2.7℃. 绝对最低气温–21.7℃. 无霜期 201 d. 年平均降水量 606 mm, 降雨多集中在 7 和 8 月份. 冬春多北风, 夏秋多南风[35].

(ⅲ) 植被特征. 安阳市附近的原始植被已破坏殆尽, 主要为农田. 市西约 25 km 属太行山区, 随海拔高度变化, 植被组成存在一定差异. 200~500 m 为浅山区, 植被稀疏且人为破坏严重, 以灌草丛为主. 500~800 m 中山区为落叶阔叶林带, 优势或常见木本植物包括栓皮栎(*Quercus variabilis*)、槲栎(*Quercus aliena*)、檀子栎(*Q. baronii*)等. 800~1500 m 乔木有鹅耳枥(*Carpinus turczaninowii*)、麻栎(*Q. acutissma*)、青檀(*Pteroceltis tatarinowii*)等. 海拔 1500 m 以上为以华山松(*Pinus armandii*)和锐齿槲栎为主的常绿针叶阔叶混交林[36~38].

根据植被和地貌特征, 研究区除去城市和村庄外, 大部分为农田和菜地, 农田主要种植小麦(*Triticum aestivum*)、玉米(*Zea mays*)、马铃薯(*Solanum tuberosum*)、棉花(*Gossypium hirsutum*)等; 菜地主要种萝卜(*Raphanus sativus* var. *longipinnatus*)、大蒜(*Allium sativum*)、白菜(*Brassica pekinensis*)、大葱(*Allium fistulosum*)、菠菜(*Spinacia oleracea*)、茄子(*Solanum melongena*)、番茄(*Lycopersicum esculentum*)、辣椒(*Capsicum frutescens*)、西葫芦(*Cucurbita pepo*)、韭菜(*Allium tuberosum*)等; 西部丘陵地区和部分田间分布有小片的荒地和林地, 林地主要为杨树林、臭椿+柏树幼林和槐树幼林. 村庄内多有散生的杨树(*Populus*)、柳树(*Salix*)、臭椿(*Ailanthus altissima*)、榆树(*Ulmus pumila*)、桃树(*Prunus persica*)、柿树(*Diospyros kaki*)、槐树(*Sophora japonica*)和泡桐(*Paulownia fortunei*)等.

2 研究方法

(ⅰ) 野外样品采集. 野外调查采用全球定位系统(GPS)在研究区内取 122 个取样点(图 1), 样品采集和群落调查同时进行. 植被调查记录植物群落总投影盖度、不同种的分投影盖度、种名等, 同时记录海拔、地表覆盖物和人类活动干扰情况. 表土样品多采集苔藓, 无苔藓的样点取地表 0~2 cm 表土.

(ⅱ) 实验室处理. 花粉分析实验室取样重量 20 g. 花粉提取采用常规的酸、碱处理(酸、碱处理后均洗至中性)和重液浮选的方法. 样品处理前加入石松孢子片 1 片(27637 粒/片), 以计算花粉浓度. 花粉鉴定统计在 400 倍日本 Olympus 光学生物显微镜下进行, 一般样品统计花粉 400 粒以上, 少数样品花粉较少, 统计花粉也高于 300 粒, 每个样品观察统计玻片 4~6 个或更多.

(ⅲ) 数据分析. 主坐标分析(principal coordinates analysis, 简称 PCoA)是一种数据间接排序方法, 类似于主成分分析(PCA). 它是从多个变量中选择少数几个综合变量尽可能地反映原来变量的信息, 又彼此互不相关, 与主成分分析的区别为主坐标分析的特征值和特征向量主要通过所有样品间的生态距离(用欧氏距离表示或 Gower 距离)获得, 而主成分分析则主要通过协方差矩阵或相关系数矩阵获得[39~41].

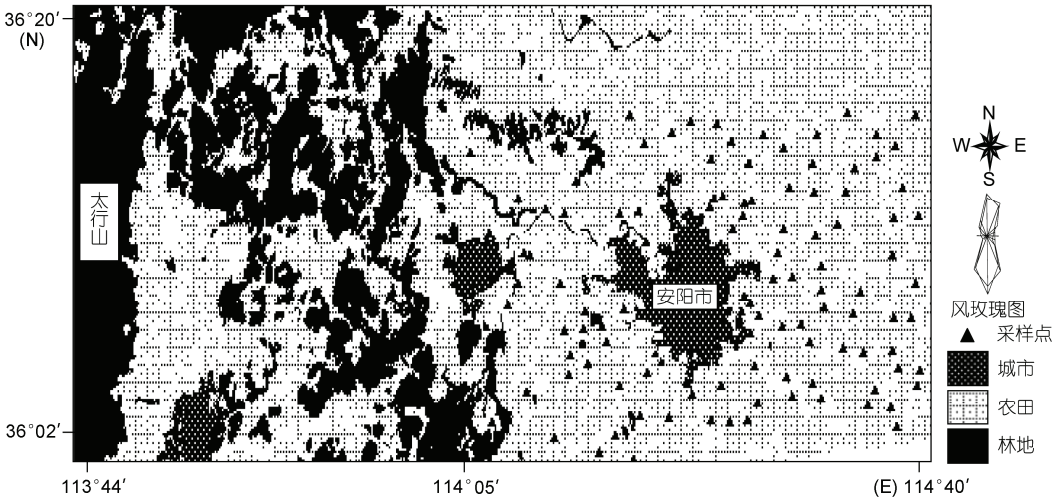


图 1 安阳地区不同农业单元及采样点位置图

3 结果

3.1 安阳地区不同农业单元表土花粉组合特征

122 个表土样品共出现孢粉类型 78 个, 其中乔木花粉类型 22 个, 灌木花粉类型 11 个, 草本花粉类型 41 个, 蕨类孢子 4 个. 表土花粉组合中乔木花粉百分比多低于 30%, 以松属花粉为主, 其次为榆, 含量多低于 5%. 灌木花粉含量低于 3%. 草本花粉百分比多高于 60%, 以禾本科、蒿属(*Artemisia*)、藜科(Chenopodiaceae)、十字花科(Cruciferae)、莎草科、葎草(*Humulus*)和荨麻(*Urtica*)属为主; 蕨类孢子平均 7%, 以中华卷柏(*Selaginella sinensis*)为主(图 2). 不同农业单元的花粉组合有一定差别, 特征如下:

(ⅰ) 荒地林地. 荒地样品 14 个, 包括 S8, S20, S57, S66, S67, Sb10, Sb11, Sb14, Sb15, Sb23, Sb25, Sb27, Sb36 和 Sb37 号样品, 主要采于路边或村中荒地. 林地样品 12 个, 包括 S2, S7, S27, S38, Sb6, Sb7, Sb9, Sb12, Sb16, Sb20, Sb26 和 Sb30 号样品, 主要采于杨树林、臭椿+柏树幼林和槐树幼林. 本组样品花粉组合中乔木花粉百分比为 3 组中最高, 平均为 19%, 以松属(平均 11%)和榆属(平均 3%)为主; 花粉组合以草本花粉为主, 平均为 80%, 其中蒿属为 20%, 藜科为 16%, 禾本科为 12%, 葎草和荨麻为 11%, 十字花科为 10%; 蕨类孢子含量平均为 4%.

(ⅱ) 农田菜地. 本组共 84 个样品, 主要包括农田和菜地样品. 农田主要为麦田、玉米田、红薯田和棉田. 菜地内种有大蒜、大葱、韭菜(均属于百合科(Liliaceae)), 茄子、西红柿、辣椒(均属于茄科(Solanaceae)), 白菜、萝卜(二者属于十字花科), 菠菜(藜科), 西葫芦(葫芦科(Cucurbitaceae))等, 包括 S31, S62, S73, S75, Sb22, Sb29 和 Sb38 号样品. 农田花粉组合仍以草本花粉为主, 禾本科花粉含量为 3 组中最高, 平均 27%, 蒿属含量低于荒地和林地, 平均为 8%. 菜地样品花粉组合与农田接近, 禾本科含量(平均 15%)低于农田样品, 略高于荒地和林地样品; 十字花科(平均 13%)高于荒地和林地样品.

(ⅲ) 油菜(菜籽)地. 本组共 12 个样品, 主要采于油菜(菜籽)地, 包括 S10, S13, S24, S26, S28, S35, S54, S83, Sb1, Sb8, Sb13 和 Sb18 号样品, 花粉组合仍以草本为主, 平均含量达 91%, 十字花科含量为 3 组中最高, 平均含量达 70%, 乔木花粉含量最低, 平均为 5%.

3.2 PCoA 排序

用 MVSP 软件对所有表土样品进行 PCoA 排序, 排序结果基本可分为 3 组: 第 1 组为荒地和林地, 第 2 组为农田和菜地, 第 3 组为油菜(菜籽)地(图 3).

第 1 组主要为荒地和林地样品, 由于杨属花粉具有低代表性[29,42], 所以杨树林样品杨树花粉含量较低, 又由于臭椿+柏树和槐树林样品采自幼林内, 臭椿、柏树和槐树花粉也较少, 因此林地与荒地乔木花粉含量较接近, 同时, 由于林子较稀疏, 林下植物与荒地植物较类似, 所以林地与荒地样品花粉组成较一致, 被排到同一组.

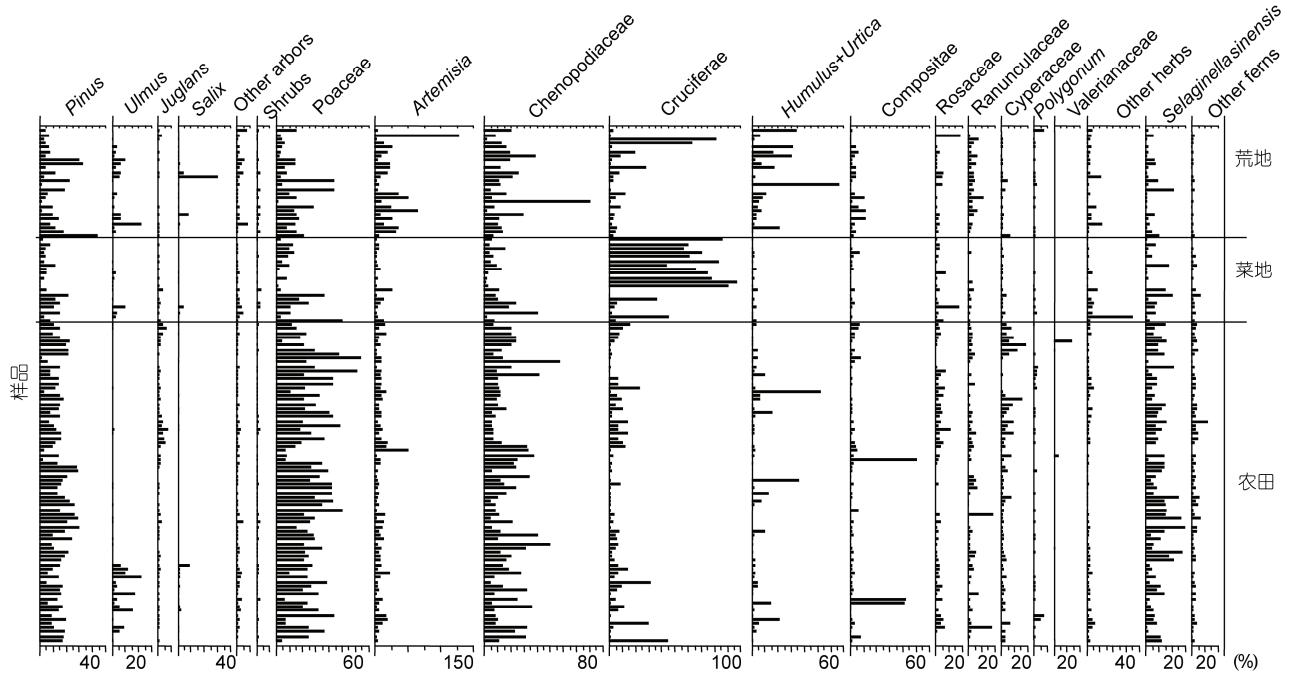


图 2　122 个表土样品花粉百分比图

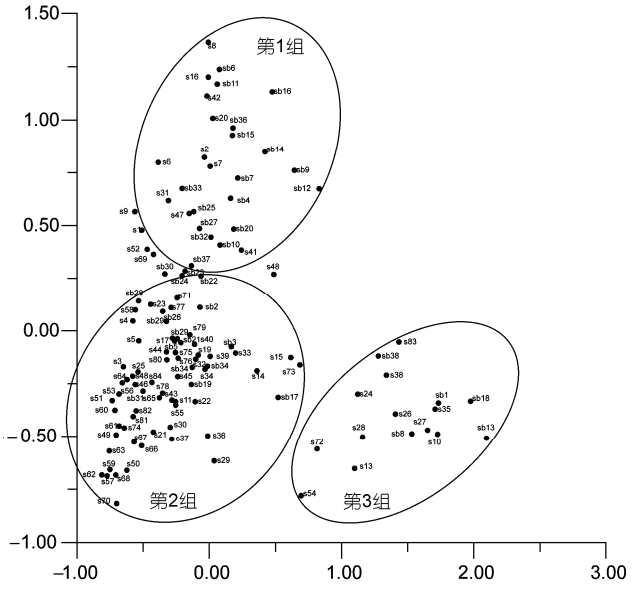


图 3　122 个表土样品 PCoA 排序结果

第 2 组样品主要为农田和菜地样品. 由于菜地一般面积较小, 且距农田较近, 同时蔬菜多未开花即被收获, 因此蔬菜地花粉组合虽与农田有差异, 但更接近农田, 二者被排到同一组中.

第 3 组样品主要为油菜(菜籽)地样品, 本组样品十字花科花粉含量(平均 70%)为 3 组中最高, 可能与油菜(菜籽)花粉(十字花科)产量较高, 且菜籽在开花以后收获, 导致十字花科花粉含量高有关, 因此本组可与其他两组分开.

3.3　主要花粉类型空间分布特征

为了更好地理解主要花粉类型的空间分布特征, 在此做各研究区海拔高度图(图 4). 松属、蒿属、藜科、十字花科、葎草和苎麻属是安阳地区花粉组合中最主要的花粉类型, 为更好地理解花粉与植被的关系, 我们对这几种主要花粉的空间分布特征进行了分析, 具体特点如下:

松属. 花粉百分比为 1%~43%, 122 个样品中 48 个样品松属含量低于 10%, 72 个样品松属含量在 10%~30%之间, 2 个超过 30%, 分别为 32%和 43%. 花粉百分比空间分布情况如图 5. 含量较高(20%~43%)的区域主要分布在安阳市区东部偏南区域(安阳市的下风向区域), 北部也有少量分布(靠近洹河), 所有这些松含量较高的区域, 海拔均较低(49~80 m), 周围很少有松树生长, 主要为农田. 高含量的松可能主要与风力和河流搬运有关.

禾本科. 花粉含量为 1%~64%, 122 个样品中 16 个样品禾本科含量高于 40%, 48 个样品在 20%~40%之间, 其余 58 个样品均低于 20%, 花粉百分比分布

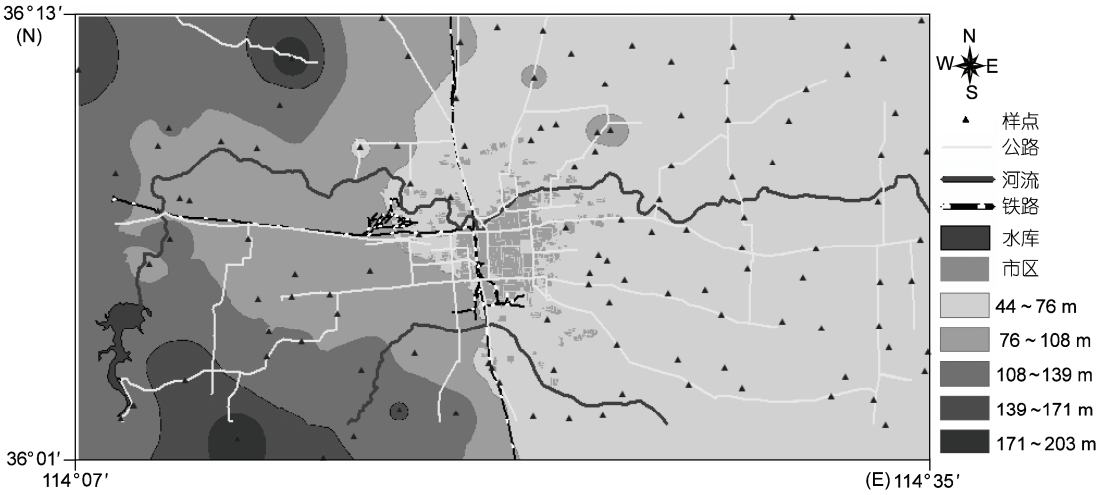


图 4 各采样点海拔高度

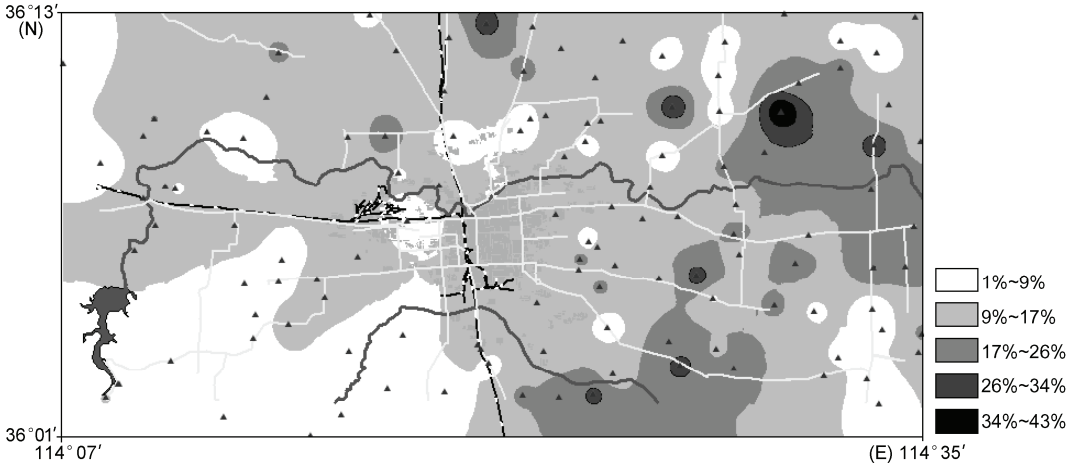


图 5 各采样点松属花粉百分比分布

情况如图 6. 结果显示高值区域(40%~64%)主要分布在安阳市区的东部和北部(图 6). 东部区域主要为大片农田(麦田和玉米田), 禾本科花粉含量大, 跟实际植被类型相符.

蒿属. 花粉的百分含量为 1%~65%, 122 个样品中 13 个样品蒿属含量高于 20%, 其余 109 个样品含量均低于 20%, 花粉百分比分布情况如图 7. 高值区域(25%~65%)主要分布在安阳市西部, 海拔相对高的区域(104~171 m), 中部和东部含量较低. 西部接近太行山, 主要为丘陵, 农作物较中部和东部少, 荒地较多, 蒿属等常见野生杂草相对较多是西部蒿属花粉含量较高的主要原因.

藜科. 花粉的百分比含量为 4%~80%, 122 个样品中 35 个样品藜科含量高于 20%, 其余 87 个样品藜科花粉含量均低于 20%, 花粉含量分布如图 8, 在城市及公路主干道的周围含量较高, 可能与人口密集度有关, 与 Liu 等人[29]的研究结果藜科花粉的增多与人类活动有关一致.

十字花科. 花粉含量为 0~97%, 122 个样品中 16 个样品十字花科花粉含量高于 40%, 15 个样品含量在 10%~40%之间, 其余 91 个样品含量均低于 10% (图 9). 十字花科花粉的高值区域(43%~85%)主要集中在安阳市周围, 西北部含量也较高. 十字花科中包含有很多种蔬菜, 在人类活动影响比较大的地区, 十字花科花粉含量高应与蔬菜的种植有很大关系. 市区周围十字花科花粉含量较高, 应与城市郊区农民种植

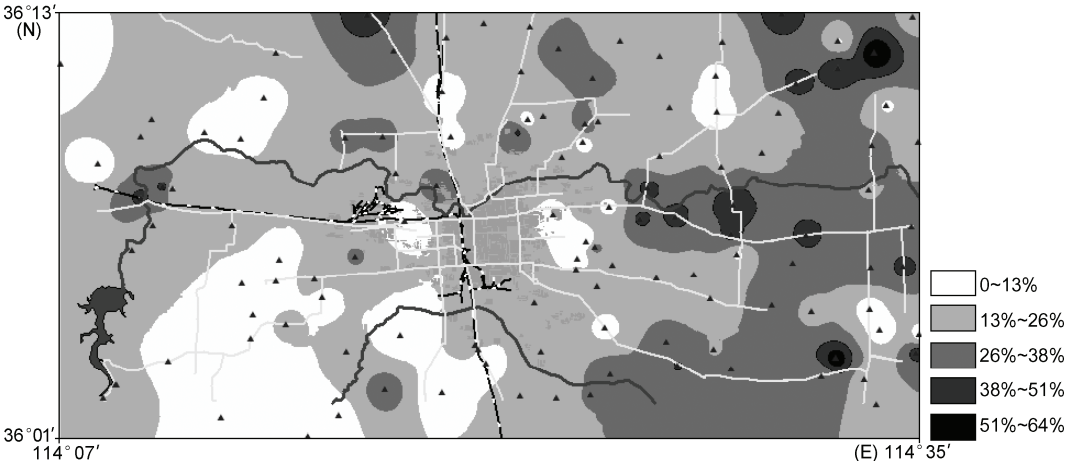


图 6　各采样点禾本科花粉百分比分布

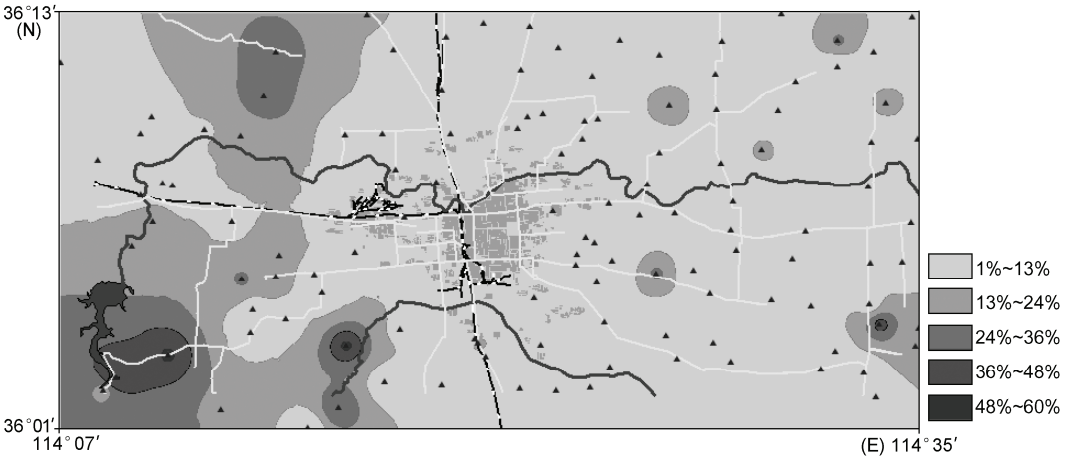


图 7　各采样点蒿属花粉百分比分布

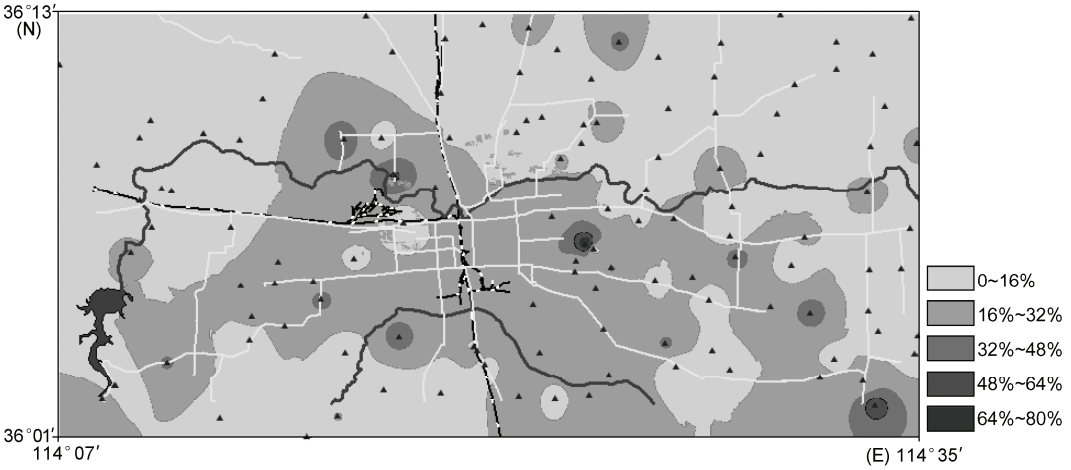


图 8　各采样点藜科花粉百分比分布

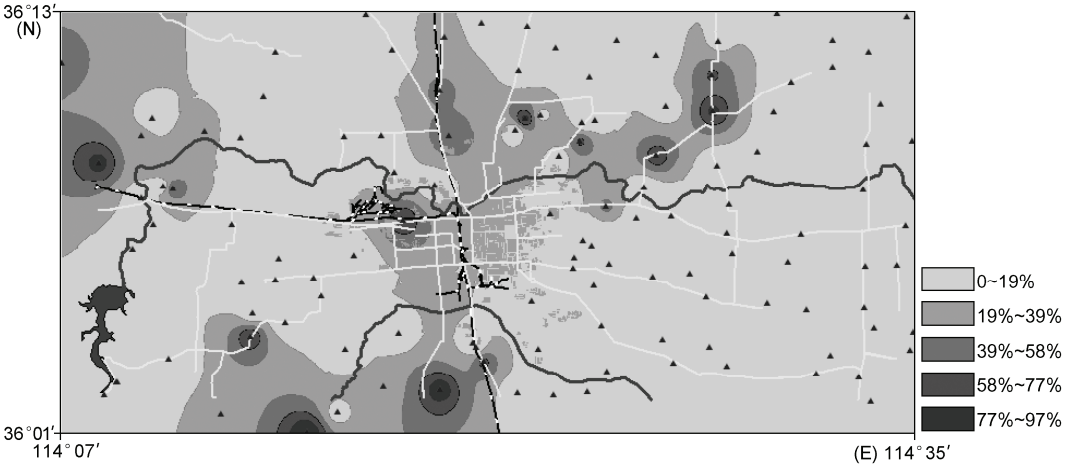


图 9 各采样点十字花科花粉百分比分布

蔬菜有关. 安阳市北部十字花科花粉较多, 可能与北部利用安阳河水灌溉菜地有关. 西北部含量较高是由于 Sb38 号样品(位于西北部)采于菜地内, S10 和 S13 号样品(位于西北部)距离菜地较近.

葎草和荨麻属. 花粉的百分比为 0~66%, 多数样品(6 个)含量低 10%. 少数几个样品含量在 30%~66%之间. 含量高的样品多采自荒地或路边小片稀疏杨树林下. 葎草和荨麻属是荒地或路边最常见的植物类型之一. 花粉可反映植被类型.

4 讨论

4.1 乔木花粉来源

乔木花粉中松为主要类型, 松属花粉百分比分布图(图 5)显示, 东部松属花粉含量较高, 西部含量较低. 然而松属花粉浓度图(图 10)显示, 松属花粉浓度由西到东逐渐降低. 但这并不矛盾. 在安阳地区, 松树主要生长在安阳西部的太行山区, 松花粉应主要从西部太行山区搬运而来. 松花粉绝对数量从西部到东部逐渐减少即是很好例证. 松花粉百分比在东部较西部高, 主要是由于西部地区花粉组合中蒿属占优势, 蒿属花粉产量高且易于保存[43~46], 使得松属花粉百分比相对降低, 而东部地区花粉组成中最主要的成分是花粉产量较低且不易保存的禾本科花粉[43~48], 从而使得松属花粉百分比相对较高. 另外, 李文漪[49]、许清海等人[50]认为, 松林内松花粉最大含量可达 30%以上, 也就是说, 孢粉组合中松花粉含量 30%以下地区都可能是无松地带, 这与本文认为松非本地花粉, 而是从西部山区搬运而来的结果一致.

另外, 乔木中云杉(*Picea*)、桦树、鹅耳枥、栎树和黄栌也只生长在安阳西部的太行山区, 其浓度分布如图 11, 西部含量较高, 中东部含量较低, 表明其花粉也应主要由西部山区搬运而来. 其余乔木植物花粉, 如柳、榆、臭椿等当地和西部山区均有, 花粉来源较难确定.

4.2 人类活动花粉的辨识

农田或菜地与人类活动关系密切, 所采 122 个样品中有 83 个采自农田或菜地, 因此花粉中应有很大一部分为农作物花粉, 如禾本科、十字花科和藜科花粉.

孢粉学家一般认为地层中禾本科花粉(尤其是粒径较大的禾本科)大量出现, 反映了农业的出现和人类活动的增强[51]. 刘鸿雁等人[52]对内蒙古地区的研究也表明, 以禾本科为主的草原本科花粉含量较低. 许清海等人[50]对中国北方草原区 39 个表土花粉研究表明, 以禾本科为建群种的自然状态草原群落花粉组合中禾本科花粉含量多低于 10%, 本研究所采农田样品禾本科花粉含量多高于 20%.

本研究鉴定出的禾本科花粉根据粒径可以分为 3 类: >75 μm, 40 μm 左右和<35 μm. Andersen[53]对栽培禾本科花粉与杂草禾本科花粉进行了详细研究后, 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, 并得出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可与栽培禾本科花粉相区别. 本研究粒径>75 μm 的禾本科

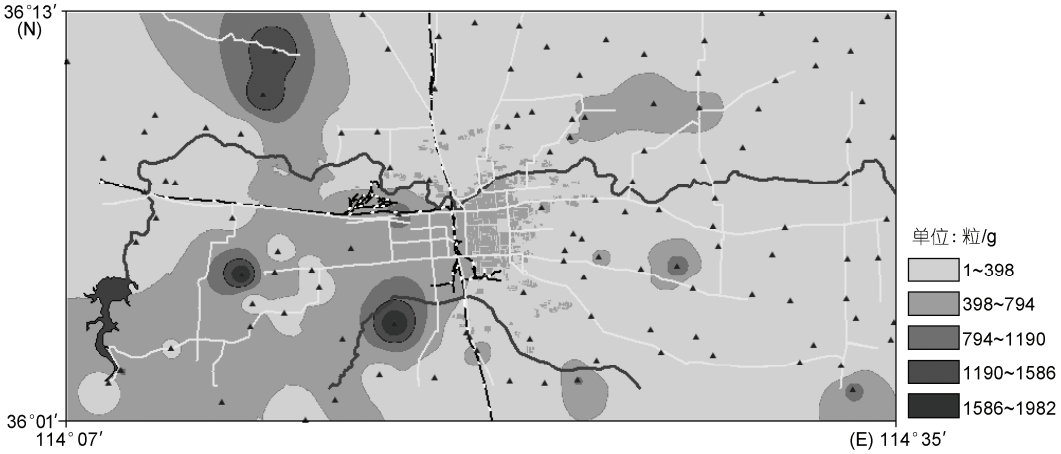


图 10　各采样点松属花粉浓度分布

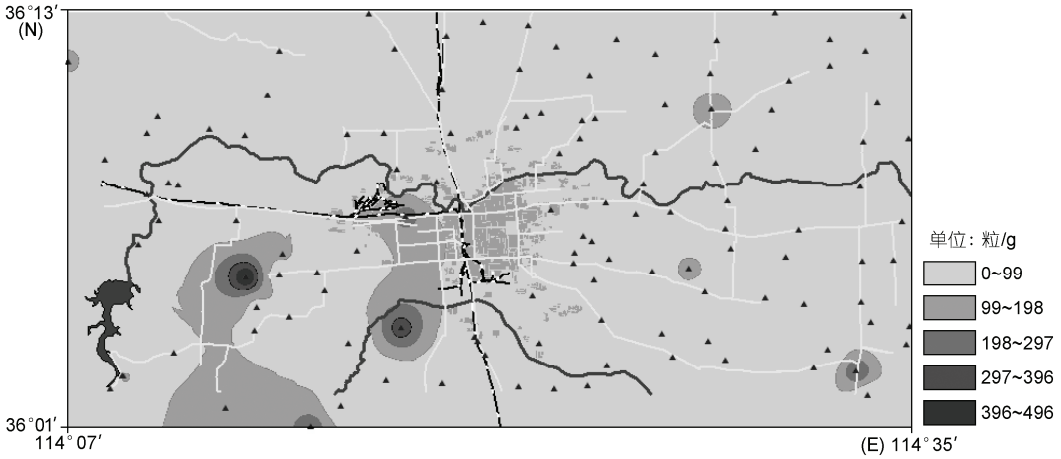


图 11　各采样点外来乔木(云杉、桦树、鹅耳枥、栎树和黄栌)花粉浓度分布

花粉个体明显较大, 与玉米现代花粉形态和大小均一致, 认为其为玉米花粉, 与蓝盛银等人[54]所测玉米直径 75~85 μm 一致; 粒径为 40 μm 左右的禾本科花粉, 颗粒较粗, 大小均一, 且在小麦田内含量最高, 与显微镜下测量的小麦花粉平均直径(39 μm)接近, 形态一致, 认为其为小麦花粉. 结果与蓝盛银等人[54]所得小麦花粉粒径 38~46 μm 一致. 粒径为 35 μm 以下的禾本科花粉一般为野生或杂草禾本科植物花粉. 所采样品中, 禾本科花粉 95%以上>35 μm, 可认为是农作物(玉米或小麦)花粉.

十字花科花粉是伴人植物花粉之一[31], 是与人类活动密切相关的栽培作物种之一. 本研究鉴定出的十字花科花粉可分为两类: 一类为油菜(菜籽)花粉, 花粉形态大小较均一, 近球形或长球形, 直径约 22~24 μm, 极面观为三裂圆形, 具三沟, 在沟区有粗颗粒, 外壁表面呈清楚网状雕纹, 网眼大小较均一. 在油菜(菜籽)地内含量较高, 最高可达 97%. 另一类为蔬菜(如白菜、萝卜、芥菜(*Brassica juncea*)和甘蓝(*Brassica oleracea*)等)和其他十字花科草本植物花粉, 大小不等, 网眼形状一般不规则. 与油菜(菜籽)地相比, 菜地内十字花科花粉含量较低, 可能由于很多蔬菜在开花前就会采收, 因此花粉较少. 其他农业单元内十字花科花粉含量很低.

藜科花粉包括菠菜花粉和其他藜科草本植物花粉两类, 菠菜地里的藜科花粉一般孔多于 70 个, 具微刺状雕纹, 刺微小而尖, 刺基部膨大呈颗粒状, 俯视时容易将刺误作颗粒[54]. 菠菜花粉无疑为人类活动的产物.

5 结论

(ⅰ) 安阳地区不同农业单元表土花粉组合中均以草本花粉为主, 平均为 73%, 禾本科、蒿属、藜科和十字花科是主要花粉类型; 乔木花粉以松属和榆属为主, 百分比平均为 18%; 灌木和蕨类孢子数量较少.

(ⅱ) 不同农业单元的花粉组合存在一定差异. 农田及多数菜地禾本科花粉含量较高, 平均为 27%, 蒿属较低, 平均为 8%. 荒地及林地花粉组合中蒿属含量较高, 平均为 20%, 禾本科含量低于 15%, 乔木花粉百分含量也较高, 平均为 19%, 以松属(平均 11%)和榆属(平均 3%), 禾本科含量低于 15%; 油菜(菜籽)地的花粉组合以十字花科为主, 平均含量达 70%. 经对比, 农田中禾本科花粉形态大小较一致, 主要为玉米和小麦花粉, 油菜地十字花科花粉主要为油菜(菜籽)花粉. PCoA 排序可以大致将农田菜地、荒地林地和油菜(菜籽)地区分开.

(ⅲ) 花粉类型中, 西部地区松属花粉浓度较高, 与松属主要生长在西部太行山有关; 禾本科花粉在安阳市东部地区含量较高, 可能跟东部区域农田较多有关; 十字花科的分布与蔬菜种植有关, 在蔬菜种植较集中的市区周围及西北部含量较高; 蒿属在西部丘陵地带含量较高, 藜科在人类活动较强的市区和交通干道附近含量较高, 葎草和蓖麻在村中荒地含量较高.

致谢 本研究的部分样品由刘劲松和张振卿采集, 在此一并感谢.

参考文献

1 李宜垠, 张新时, 周广胜. 中国东北样带(NECT)东部森林区的植被与表土花粉的定量关系. 植物学报, 2000, 42: 81—88
2 于澎涛, 刘鸿雁. 小五台山北台北坡植被垂直带的表土花粉及其气候意义研究. 北京大学学报(自然科学版), 1997, 33: 475—484
3 童国榜, 羊向东, 王苏民, 等. 满洲里-大杨树一带表土孢粉的散步规律及数量特征. 植物学报, 1996, 38: 814—821
4 姚祖驹. 山西中条山地区表土花粉分析. 地理学报, 1989, 44: 469—477
5 王琣瑜, 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
6 罗传秀, 郑卓, 潘安定, 等. 新疆地区表土孢粉空间分布规律研究. 地理科学, 2008, 28: 272—275
7 赵先贵, 肖玲, 陈存根, 等. 秦岭表土的花粉分析. 西北林学院学报, 1999, 14: 1—5
8 朱艳, 陈发虎, Madsen B D. 石羊河流域早全新世湖泊孢粉记录及其环境意义. 科学通报, 2001, 46: 1596—1602
9 孙湘君, 宋长青, 陈旭东. 中国第四纪孢粉数据库(CPD)和生物群区(Biome 6000). 地球科学进展, 1999, 14: 407—411
10 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—406
11 胡效月, 安成邦. 中国农业起源研究综述. 安徽农业科学, 2007, 35: 8008—8010
12 Firbas F. Der Pollenanalytysche nachweis des getreidebaus. Zeitschrift fur Botanik, 1937, 31: 447—448
13 Iversen J. The influence of prehistoric man on vegetation. Dan Geol Under, Ser Ⅳ, 1949, 3: 1—25
14 Berglund B E. Vegetation history and human influence in south Scandinavia during prehistoric time. Oikos, 1969, 12: 9—28
15 Kvamme M. Pollen analytical studies of mountain summer-faming 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
16 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
17 Hicks S. Pollen evidence of localized impact on the vegetation of northern most Finland by hunter-gatherers. Veg Hist Archaeobot, 1993, 2: 137—144
18 Carpelan C, Hicks S. Ancient saami in finnish lapland and their impact on the forest vegetation. In: Butlin R, Roberts N, eds. Ecological Relations in Historical Times. Oxford: Blackwell, 1995. 195—205
19 Dimbleby G W. The Palynology of Archaeological Sites. London: Academic Press, 1985. 1—176
20 Behre K E. Anthropogenic Indicators in Pollen Diagram. Rotterdam: A A Balkema, 1986. 1—232
21 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. 1—514
22 Van der Linden M, van Geel B. Late Holocene climate change and human impact recorded in a south Swedish ombrotrophic peat bog. Palaeogeogr Palaeoclim Palaeoecol, 2006, 240: 649—667
23 Donders T H, Wagner F, Visscher H. Quantification strategies for human-induced and natural hydrological changes in wetland vegetation,

southern Florida, USA. Quat Res, 2005, 64: 333—342
24 Poska A, Saarse L, Veski S. Reflections of pre-and early-agrarian human impact in the pollen diagrams of Estonia. Palaeogeogr Palaeoclim Palaeoecol, 2004, 209: 37—50
25 Kalis A J, Merkt J, Wunderlich J. Environmental changes during the Holocene climatic optimum in central Europe——human impact and natural causes. Quat Sci Rev, 2003, 22: 33—79
26 Hjelle L K. Relationships between pollen and plants in human-influenced vegetation types using presence-absence data in western Norway. Rev Palaeobot Palyno, 1997, 99: 1—16
27 Court-Picon M, Alexandre B, de 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
28 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
29 Liu H Y, Wang Y, Tian Y H. Climatic and anthropogenic control of surface pollen assemblages in East Asian steppes. Rev Palaeobot Palyno, 2006, 138: 281—289
30 邓韫, 郑卓, Cour P. 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, 2003, 41: 508—516
31 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
32 Tang J G, Jing Z C, Xu G, et al. A preliminary report of the regional archaeological survey in the Huan River valley. Archaeology, 1998: 13—27
33 中国社会科学院考古研究所. 中国考古学(夏商卷). 北京: 中国社会科学出版社, 2004. 1—668
34 Jing Z C, Tang J G, Liu Z, et al. Survey and test excavation of the Huanbei Shangcheng in Anyang. Chin Archaeo, 2004, 4: 1—20
35 《安阳县志》编纂委员会. 安阳县志. 郑州: 中州古籍出版社, 1990. 1—236
36 刘宗才, 曹振强. 河南植物区系分区研究. 河南农业大学学报, 2001, 35: 45—148
37 姚连芳. 河南太行山区野生观赏植物资源及其开发利用. 中国野生植物资源, 1994, 2: 26—28
38 邝生舜. 河南山地植被的垂直分布规律. 河南师范大学学报(自然科学版), 1991, 4: 91—94
39 Davis J C. Statistics and Data Analysis in Geology. New York: John Wiley & Sons, 1986. 1—646
40 Harper D A T. Numerical Palaeobiology. New York: John Wiley & Sons, 1999. 285—360
41 Pielou E C. The Interpretation of Ecological Data. New York: John Wiley, 1984. 1—288
42 Richard H W. Detecting human impact in the pollen record using data-model comparison. Veget Hist Archaeobot, 2008, 17: 597—603
43 李宜垠, 张新时, 周广胜, 等. 中国北方几种常见表土花粉类型与植被的数量关系. 科学通报, 2000, 45: 761—765
44 杨振京, 许清海, 孟令尧, 等. 燕山地区表土花粉与植被间的数量关系. 植物生态学报, 2003, 27: 804—809.
45 曹现勇, 田芳, 许清海, 等. 阴山山脉东段花粉通量及其表土花粉比较研究. 古生物学报, 2007, 46: 411—419
46 郑卓, 黄康有, 许清海, 等. 中国表土花粉与建群植物地理分布的气候指示性对比. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2008, 38: 701—714
47 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
48 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
49 李文漪. 中国第四纪植被与环境. 北京: 科学出版社, 1998. 1—7
50 许清海, 李月丛, 阳小兰, 等. 中国北方几种主要花粉类型与植被定量关系. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2007, 37: 192—205
51 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
52 Liu H Y, Cui H T, Pott R, et al. Surface pollen of the woodland-steppe ecotone in southeastern Inner Mongolia, China. Rev Palaeobot Palyno, 1999, 105: 237—250
53 Andersen S T. Identification of wild grass and cereal pollen. Danmarkes geologiske Undersogelse, Arbog, 1978, 1979. 69—92
54 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