

山西西部吕梁山中北段现代花粉散布特征

王学丽, 李月丛*, 许清海, 阳小兰, 张振卿, 贾红娟, 曹现勇, 张丽艳

(河北师范大学资源与环境学院, 石家庄 050016)

摘要:山西西部吕梁山中北段关帝山和芦芽山地区 7 个不同植被类型共计 15 个表土样品和 7 个捕捉器样品表土花粉组合特征和花粉通量研究表明:(1)表土和捕捉器样品花粉组合中主要类型与植被组成中优势类型一致。(2)关帝山与芦芽山现代花粉组合特征差异明显,芦芽山地区花粉组合中草本花粉占优势,百分比多高于 50%,乔木花粉百分比多低于 50%,花粉通量平均为 27194 grains/(cm²·a);关帝山乔木花粉占优势,百分比多高于 50%,草本花粉多低于 30%,花粉通量平均为 57961 grains/(cm²·a)。(3)松属、云杉属和蒿属花粉在表土样品中的百分比远高于捕捉器样品,显示较强的保存能力;落叶松属、桦属和栎属花粉在表土样品中的百分比明显低于捕捉器样品,显示花粉保存能力相对较差。(4)样品聚类分析和 DCA 分析结果显示:二者分析结果具有很好的一致性,花粉组合最主要的控制因子是温度。

关键词:芦芽山;关帝山;花粉捕捉器;DCA 分析;CLA 分析

文章编号:1000-0933(2008)08-3682-09 中图分类号:Q143 文献标识码:A

Modern pollen distribution in the middle and north of Luliang Mountains, Shanxi Province

WANG Xue-Li, LI Yue-Cong*, XU Qing-Hai, YANG Xiao-Lan, ZHANG Zhen-Qing, JIA Hong-Juan, CAO Xian-Yong, ZHANG Li-Yan

Hebei Normal University, Shijiazhuang 050016, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(8): 3682 ~ 3690.

Abstract: A total of 15 surface soil samples and additional 7 pollen trap samples from middle (Guangdi Mts.) and northern (Luya Mts.) sections of Luliang Mountains, Shanxi Province, were palynologically analyzed. The pollen percentage and influx results show that: (1) Major pollen types in most samples reflect dominant members of the local plant communities. (2) In both surface and trap samples, pollen assemblages show significant difference between Guandi Mountains and Luya Mountains: in most of Luya Mountains, non-arboreal pollen grains exceeds 50% of the total pollen sum and the pollen influx averaged for all the sites is 2.7×10^4 grains/(cm²·a). In Guandi Mountains, however, arboreal pollen becomes dominant (>50%) NAP percentages drops down to less than 30%. The average pollen influx reached 5.8×10^4 grains/(cm²·a): (3) The percentages of *Pinus*, *Picea* and *Artemisia* are higher in surface soil samples than that in pollen trap samples, indicating their higher preservation potential in soil. However the percentages of *Larix* *Betula* and *Quercus* are

基金项目:国家科学技术部基础研究重大项目前期研究专项资助项目(2003CCA01800);国家自然科学基金资助项目(40571166,40672107);河北省博士基金资助项目(06547006-3);国家教育部博士点专项科研基金资助项目(20050094004)

收稿日期:2007-05-11;修订日期:2007-11-23

作者简介:王学丽(1982~),女,山西晋城人,硕士生,主要从事古生态学与全球变化研究. E-mail: wangxl929@gmail.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lyczh@sohu.com

Foundation item: The project was financially supported by Preliminary Research of Key Research Project of China, Science and Technology Ministry of China (Grant No. 2003CCA01800), National Natural Science Foundation of China (Grant No. 40571166, 40672107), Special Foundation for PhD of Hebei Province (Grant No. 06547006-3) and PhD Foundation of National Education Ministry of China (Grant No. 20050094004)

Received date: 2007-05-11; Accepted date: 2007-11-23

Biography: WANG Xue-Li, Master, mainly engaged in paleoecology and global environment changes. E-mail: wangxl929@gmail.com

lower in surface soil than in pollen traps suggesting their relatively lower preservation potential in soil. (4) Both Cluster analysis (CLA) and detrended correspondence analysis (DCA) show similar results with temperature as the important environmental factors to control pollen assemblages.

Key Words: Luliang Mountains; pollen traps; surface soil samples; pollen assemblages; CLA and DCA

花粉是古植被和古气候研究的重要代用指标之一。但花粉与植被和气候的关系是非线性的,受花粉产量、传播、散布、保存等因素的影响,花粉组合与真实的植被组成存在着一定的差异,因而,花粉现代过程研究成为认识花粉与植被关系的重要途径^[1]。表土花粉与花粉通量是进行花粉现代过程研究的重要材料。表土花粉组合通常被认为是多年花粉沉积^[2,3]的结果,国内对表土花粉组合与植被关系的研究也很多^[4~11]。空气花粉通量因为可以较客观反映特定时间和空间范围内花粉沉积状况,近些年较表土花粉研究受到更多的关注^[12~14],欧洲还针对花粉通量实施了花粉检测计划(Pollen Monitoring Programme)(PMP)^[15]。目前我国花粉通量研究还非常少,仅见孙湘君等^[16]对长白山红松云杉混交林和许清海等^[17]对长白山红松针阔混交林的少量研究。本研究通过山西吕梁山北段关帝山与芦芽山不同植被类型表土和花粉通量研究,探讨山西西部现代花粉的散布特征。

1 自然概况

芦芽山位于吕梁山北端,约 N 38°36' ~ 39°02', E 111°46' ~ 112°54', 海拔 1200 ~ 2774m。属暖温带半湿润区落叶阔叶林带西北边缘。年均气温 6 ~ 8℃, 年降水量 384 ~ 679mm, 年蒸发量 1800mm, 年均湿度 50% ~ 55%, 无霜期 130 ~ 170d。随海拔高度的升高, 芦芽山植被具有明显的垂直地带性, 西坡基带植被为温带草原, 东坡基带植被为暖温带落叶阔叶林。垂直分带明显: 1450m 以下为灌草丛和农田带; 1450 ~ 1600m 阴坡为白桦(*Betula platyphylla*)、山杨(*Populus davidiana*)和辽东栎(*Quercus liaotungensis*)组成的阔叶林; 1550 ~ 1800m 阳坡为油松(*Pinus tabulaeformis*)、辽东栎为主的混交林; 阴坡为白桦、山杨、青杆(*Picea wilsonii*)、华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)组成的针阔混交林; 1700 ~ 2600m 为华北落叶松、青杆、白杆(*Picea meyeri*)为主的寒温带针叶林。2600m 以上为草甸^[18]。

关帝山位于吕梁山脉中段, 约 N37°20' ~ 38°20', E110°18' ~ 111°40', 属于暖温带半湿润大陆性季风气候, 地带性植被为暖温带落叶阔叶林, 地形复杂, 生境多样。年平均温度 3 ~ 4℃, 年降水量 600 ~ 800mm。植被的垂直带谱明显, 在低中山以油松林为主, 在阳坡有辽东栎、山杨和白桦, 与油松形成斑块状混交。低山灌丛植被的建群种主要有虎榛子(*Ostryopsis davidiana*)、黄刺玫(*Rosa xanthina*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)等。在海拔 1800m 以上以华北落叶松林占绝对优势, 白杆林、青杆林次之^[19]。

2 研究方法

2.1 野外样品采集

2.1.1 花粉通量样品采集

花粉通量研究采用 Tauber 花粉捕捉器的方法^[20]。每一植被类型内各放置 2 ~ 4 个 Tauber 花粉捕捉器, 6 个植被类型共放置花粉捕捉器 15 个, 其中芦芽山放置 7 个, 关帝山放置 8 个, 放置时间为 1a。花粉捕捉器一般放置在植被带内具有一小开放空间的地段, 以减少局地植被影响。由于人为或动物的破坏, 近半数花粉捕捉器样品丢失(芦芽山云杉林内丢失 1 个, 关帝山除 147 号样品外全部丢失), 总共收回花粉捕捉器 7 个。

2.1.2 表土花粉样品采集

为了与花粉捕捉器样品对比, 采集表土花粉样品与安放花粉捕捉器同时进行, 每一安放花粉捕捉器样点均采集表土样品, 表土样品采集以苔藓为主, 没有苔藓的样点, 取地表层 1 ~ 2 cm 厚的土壤。

采集表土样品时, 对样点周围 30m 范围内植被组成进行了调查, 记录植物群落总投影盖度, 不同种的分投影盖度、种名等, 采样点位置及其植被组成见表 1。

表 1 采样点位置及其植被状况

Table 1 The location of sample sites and vegetation types

采样编号 No.	经度(N)	纬度(E)	海拔 H(m)	群落类型 Types of communities
芦芽山 Luya Mountain S78	111°56.516'	38°53.456'	2335	青杆白杆华北落叶松混交林
芦芽山 S79	111°56.501'	38°53.440'	2334	<i>Picea wilsonii</i> <i>Picea meyeri</i> and
芦芽山 S80	111°57.488'	38°52.663'	2160	<i>Larix principis-rupprechtii</i> mixed forest
关帝山 Guandi Mountain S142	111°26.464'	37°52.616'	2022	
芦芽山 S81	112°03.334'	38°51.910'	1763	青杆白杆白桦混交林
芦芽山 S82	112°04.783'	38°50.968'	1675	<i>Picea wilsonii</i> <i>Picea meyeri</i> and
芦芽山 S83	112°04.937'	38°48.723'	1682	<i>Betula platyphylla</i> mixed forest
芦芽山 S84	112°04.930'	38°48.720'	1691	虎榛子灌丛 <i>Ostryopsis</i> shrub
关帝山 S143	111°26.471'	37°52.623'	2014	沙棘灌丛 <i>Hippophae</i> shrub
关帝山 S140	111°25.889'	37°53.247'	2136	白桦林 <i>Betula platyphylla</i> forest
关帝山 S141	111°25.900'	37°53.247'	2136	
关帝山 S144	111°30.761'	37°46.421'	1575	白桦山杨混交林 <i>Betula platyphylla</i> and
关帝山 S145	111°30.774'	37°46.417'	1565	<i>Populus davidiana</i> mixed forest
关帝山 S146	111°30.937'	37°43.406'	1455	油松栎混交林 <i>Pinus tabulaeformi</i>
关帝山 S147	111°30.942'	37°43.401'	1467	and <i>Quercus liaotungensis</i> mixed forest

2.2 实验室处理

表土花粉分析实验室取样重量 10g,花粉提取采用常规的 HF 方法^[21]。花粉捕捉器样品先用 200 μ m 筛过滤,水洗沉淀,然后仍采用常规的 HF 方法^[21]提取花粉。

花粉鉴定统计在 400 倍日本 Olympus BX-51 光学生物显微镜下进行,每个样品鉴定统计花粉 400 粒以上,观察统计薄片 4~6 个或更多。最后在 Tilia 软件支持下做出花粉百分比和捕捉器样品花粉通量图式。

2.3 花粉通量计算方法

花粉通量($\text{grains}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})$) = (某一类型花粉数量 $\times$ 加入石松孢子数) / (鉴定石松孢子数量 $\times$ 花粉捕捉器开口面积(cm^2))

本研究中加入石松孢子数为 11670 粒,花粉捕捉器开口直径 5.2cm。

3 结果与讨论

3.1 不同植被类型捕捉器与表土样品花粉组合特征对比

6 个不同植被类型花粉组合特征见(图 1,2)。

(1) 青杆白杆华北落叶松混交林

林内共采集表土花粉样品 4 个,3 个(S78, S79, S80)来自芦芽山,安放花粉捕捉器 4 个,收回 2 个(来自芦芽山)。两捕捉器样品(T79, T80)花粉通量为 10801 ~ 14588 $\text{grains}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})$,平均 12694 $\text{grains}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})$,在所有群落类型中通量最低。其中,乔木花粉百分比 22% ~ 30%,以落叶松(*Larix*) (7% ~ 14%)、云杉(*Picea*) (3% ~ 4%) 和桦(*Betula*) (4% ~ 9%) 比例较高;灌木花粉百分比 5% ~ 12%;草本花粉百分比 62% ~ 75%,草本花粉中蒿属(*Artemisia*)含量最高,达 48% ~ 56%;蕨类孢子少见,仅为 0.4% 和 1.3%。

芦芽山表土花粉与捕捉器样品相比,花粉类型相似,但表土样品中云杉属花粉百分比(15% ~ 35%)明显高于捕捉器样品(略高于 3%),可能表明云杉属花粉产量不高,但易于保存,从而使得花粉在表土中富集,含量较捕捉器高;而表土样品中落叶松属花粉百分比(2% ~ 3%)明显低于捕捉器样品(7% ~ 14%)中含量,可能显示落叶松属花粉在地层中保存能力较差,使得表土中保存下来的落叶松花粉比例低于捕捉器样品。

关帝山青杆白杆华北落叶松混交林内安放花粉捕捉器 1 个丢失,采集表土花粉样品 1 个(S142)。表土花粉组合中乔木花粉百分比达 91%,其中松属(*Pinus*) (26%) 和云杉属(60%) 比例较大,桦属 5%,落叶松属花粉缺失;其他花粉数量较少,灌木花粉不超过 2%,草本花粉约 7%。

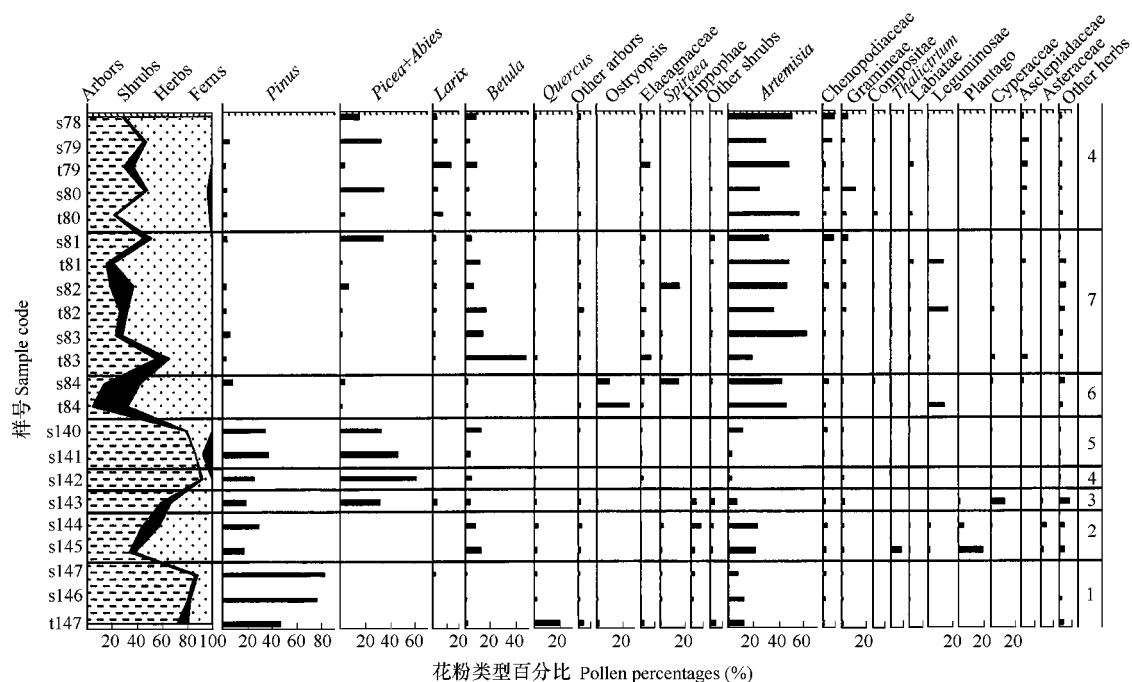


图1 关帝山、芦芽山表土和捕捉器样品主要花粉类型百分比

Fig. 1 Pollen percentages of surface and trap pollen sample's major pollen taxa of Luya and Guandi Mountains

1. 油松辽东栎混交林 *Pinus tabulaeformis* and *Quercus liaotungensis* mixed forest; 2. 白桦山杨混交林 *Betula platyphylla* and *Populus davidiana* mixed forest; 3. 沙棘灌丛 *Hippophae* shrub; 4. 青杆白杆华北落叶松混交林 *Picea wilsonii* *Picea meyeri* and *Larix principis-rupprechtii* mixed forest; 5. 白桦林 *Betula platyphylla* forest; 6. 虎榛子灌丛 *Ostryopsis* shrub; 7. 青杆白杆白桦混交林 *Picea wilsonii* *Picea meyeri* and *Betula platyphylla* mixed forest

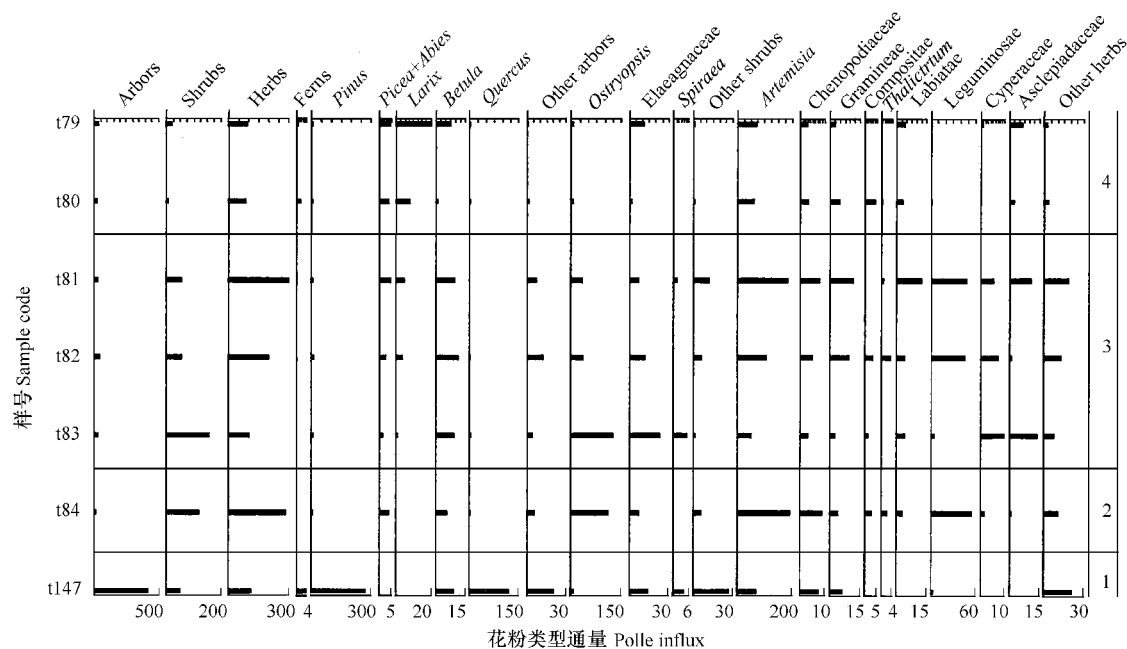


图2 关帝山、芦芽山捕捉器样品主要花粉类型通量

Fig. 2 Pollen influx of trap pollen samples' major pollen taxa of Luya and Guandi Mountains

1. 油松辽东栎混交林 *Pinus tabulaeformis* and *Quercus liaotungensis* mixed forest; 2. 白桦山杨混交林 *Betula platyphylla* and *Populus davidiana* mixed forest; 3. 沙棘灌丛 *Hippophae* shrub; 4. 青杆白杆华北落叶松混交林 *Picea wilsonii* *Picea meyeri* and *Larix principis-rupprechtii* mixed forest; 5. 白桦林 *Betula platyphylla* forest; 6. 虎榛子灌丛 *Ostryopsis* shrub; 7. 青杆白杆白桦混交林 *Picea wilsonii* *Picea meyeri* and *Betula platyphylla* mixed forest

(2) 青杆白杆白桦混交林

青杆白杆白桦混交林样品均来自芦芽山,安放花粉捕捉器 3 个,收回 3 个,采集表土花粉样品 3 个。

3 个花粉捕捉器样品(T81, T82, T83)花粉通量为 20283 ~ 37793 grains/(cm²·a),平均 31792 grains/(cm²·a),高于云杉落叶松林花粉通量。花粉组成中乔木花粉百分比 16% ~ 55%,平均 32%,其中桦属 11% ~ 48%,云杉属含量较低(低于 1%);灌木花粉百分比 5% ~ 10%;草本花粉百分比 35% ~ 79%,其中蒿属 19% ~ 48%;无蕨类孢子。

3 个表土样品(S81, S82, S83)与捕捉器样品花粉组成种类近似,但表土样品中乔木花粉百分比为 19% ~ 45%,平均 29%,低于捕捉器样品(32%),其中云杉属 1% ~ 35%,明显高于捕捉器样品中的含量;桦属 5% ~ 15%,低于捕捉器样品中含量;灌木花粉百分比 6% ~ 18%,以绣线菊属(*Spiraea*)0.2% ~ 16% 为主;草本花粉百分比 49% ~ 71%,以蒿属 32% ~ 62% 为主,低于捕捉器样品。

(3) 白桦林

白桦林样品均来自关帝山,林内安放花粉捕捉器 2 个,均丢失。采集表土花粉样品 2 个(S140, S141)。表土样品花粉组成中乔木花粉百分比(79% ~ 86%)最高,其中松属 34% ~ 36%,云杉属 33% ~ 46%,桦属 4% ~ 12%;灌木花粉百分比低于 1%;草本花粉百分比 6% ~ 19%,以蒿属(3% ~ 12%) 为主。S140 号样品无蕨类孢子出现, S141 号样品中蕨类可达 7%。

花粉百分比与植被盖度的对比显示,云杉属花粉百分比(33% ~ 46%)明显高于云杉的植被盖度 10%,桦属花粉占百分比(4% ~ 12%)明显低于桦的植被盖度 80%,原因一方面与花粉保存能力有关,前两种植被类型花粉组合研究均显示云杉在表土中含量较捕捉器高,而桦属正好相反,表土中含量较捕捉器低,可能显示云杉在地层中较桦有更好的保存能力。

另一方面可能与白桦林的成熟度有关,白桦林通常被认为是阳性次生林,是云冷杉等针叶林遭破坏后形成的,但白桦林演替到一定阶段,会重新被云杉等针叶林所取代,关帝山在 20 世纪 80 年代末已成立保护区^[22],受人类活动影响减小,白桦林经过一段时间的生长,已成为过熟林,幼苗更新能力差,可能花粉产量也降低,加之花粉保存能力不如云杉,可能会使云杉在表土花粉组合中的含量相对高,桦在表土花粉组合中的含量降低。

(4) 白桦山杨杂木林

白桦与山杨杂木林样品均来自关帝山,林内安放花粉捕捉器 2 个,均丢失,采集表土花粉样品 2 个(S144, S145)。表土样品花粉组成中乔木花粉百分比 34% ~ 43%,其中松属 17% ~ 29%,桦属 8% ~ 12%,杨属(*Populus*)低于 1%;灌木花粉百分比 5% ~ 15%,以沙棘属(*Hippophae*)(2% ~ 8%) 为主;草本花粉百分比 43% ~ 61%,以蒿属(22% ~ 23%) 为主。S144 号样品无蕨类孢子, S145 号样品中有少量蕨类孢子出现,百分比低于 1%。

表土花粉类型与植被类型类似,但杨属花粉在表土样品中所占百分比(1%)明显低于杨的植被盖度(20%),表明杨属花粉具有低代表性,这与前人研究结果一致^[6]。

(5) 油松辽东栎混交林

油松辽东栎混交林样品均来自关帝山,林内安放花粉捕捉器 2 个,收回 1 个,采集表土样品 2 个。捕捉器样品(T147)花粉通量为 57961 grains/(cm²·a),为所有植被类型中最高,花粉组合中乔木花粉最多,为 72%,以松属(46%)、栎属(*Quercus*)(21%) 为主;灌木花粉百分比 9%;草本花粉百分比 19%,以蒿属(12%) 为主;蕨类孢子低于 1%。

表土样品(S146, S147)花粉组合也以乔木花粉(80% ~ 86%) 为主,其中松属 76% ~ 82%,明显高于捕捉器样品,但栎属仅 2% 左右,明显低于捕捉器样品含量(21%),且低于栎属的植被盖度(30%),表明栎属花粉产量并不低,但在地层中的保存能力较弱,具有低代表性。而松不仅产量高,而且在地层中有较好保存能力。

(6) 虎榛子灌丛

芦芽山虎榛子灌丛内安放花粉捕捉器 1 个,收回 1 个,采集表土花粉样品 1 个。

捕捉器样品(T84)花粉通量为 $4240 \text{ grains}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})$,与青杆白杆白桦混交林类似。花粉组成中灌木和草本百分比比较高,分别为 29% 和 67%,乔木仅为 4%,无蕨类孢子。灌木花粉组成以虎榛子属(*Ostryopsis*) (26%) 为主,草本花粉组成以蒿属(46%) 为主。

表土样品(S84)花粉组成中乔木花粉百分比 14%,较花粉捕捉器样品略高;灌木花粉 28%,以虎榛子属(10%) 和绣线菊属(14%) 为主,虎榛子属含量低于捕捉器,出现绣线菊属花粉,与捕捉器样品存在差异;草本花粉 57%,以蒿属(43%) 为主,与捕捉样品类似。

(7) 沙棘灌丛

关帝山沙棘灌丛内安放花粉捕捉器 1 个,丢失,采集表土花粉样品 1 个。

表土样品(S143)花粉组成中乔木花粉百分比 59%,其中松属 19%,云杉属 32%,落叶松属 2%,桦属 4%;灌木花粉百分比 9%,以沙棘 4% 为主;草本花粉 32%,以蒿属(6%) 和莎草科(11%) 为主,蕨类孢子低于 1%。

综上所述,不论是表土还是捕捉器样品,花粉组成中主要类型与植被中优势类型基本一致,表明表土与捕捉器样品均能较好的反映植被特征。但不同类型的花粉在捕捉器与表土样品中百分比存在一定差异,如云杉属和蒿属花粉在表土中的含量明显高于捕捉器样品中的含量,桦属和栎属花粉在表土中的含量明显低于捕捉器样品中的含量,其原因可能与花粉保存能力有关。

3.2 不同样品花粉组合特征的对比

为了比较不同样品花粉组合的相似相异程度,对所有样品进行了 Q 型聚类(对样品聚类)分析,结果如图 3。

通过聚类分析,可将全部样品分成 5 组,第 1 组包括表土样品 S78、S79、S80、S81 和捕捉器样品 T79、T80,均来自芦芽山青杆白杆华北落叶松混交林,分布海拔高度大于 2000m;第 2 组包括表土样品 S82、S83、S84 和捕捉器样品 T81、T82、T83、T84,样品均来自芦芽山,其中 81、82 和 83 号样品来自青杆白杆白桦混交林,84 号样品来自虎榛子灌丛,该组分布海拔高度 1600 ~ 1800m;第 3 组为包括表土样品 S140、S141、S142 和 S143,样品均来自关帝山,其中 S140 和 S141 来自白桦林,S142 号样品来自青杆白杆华北落叶松混交林,S143 号样品来自沙棘灌丛,分布海拔高度大于 2000m;第 4 组包括表

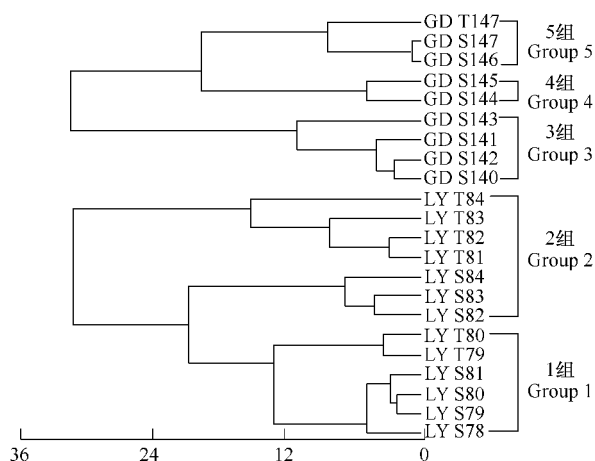


图 3 芦芽山、关帝山表土和捕捉器样品聚类分析

Fig. 3 Result of cluster analysis of surface and trap samples of Luya and Guandi Mountains

土样品 S146、S147 和捕捉器样品 T147,样品均来自关帝山油松辽东栎混交林,分布海拔高度 1500 ~ 1600m;第 5 组包括表土样品 S144 和 S145,样品均来自关帝山白桦山杨杂木林,分布海拔高度 1400 ~ 1500m。

为进一步认识不同环境条件下不同植被类型花粉组合与环境因子的关系,对所有样品进行 DCA 排序(图 4)。样品主要由第 1,2 主轴所代表的环境因素控制。根据 DCA 分析结果同样可以将所有样品分为 5 组。分组结果与聚类分析结果完全相同。从样点分布来看,芦芽山样品在第 1 主轴得分均小于 0,关帝山样品在第 1 主轴得分则大于 0,芦芽山纬度较高($38^{\circ}48.720' \sim 38^{\circ}53.456'$),关帝山纬度较低($37^{\circ}43.401' \sim 37^{\circ}53.247'$),表明第 1 主轴可能主要反应随纬度发生的水平变异。在第 2 主轴,得分大于 0 的样品所处海拔高度均较高(1763 ~ 2334m),小于 0 的样品所处海拔高度均较低(1455 ~ 1691m),海拔越高的样品在第 2 主轴的得分值越高。表明第 2 主轴可能主要反应随海拔高度的垂直变异,与前人研究结果一致^[23]。随着纬度和海拔的变化,温度变化明显,两者综合可反映植被和花粉组合随温度的空间变化。

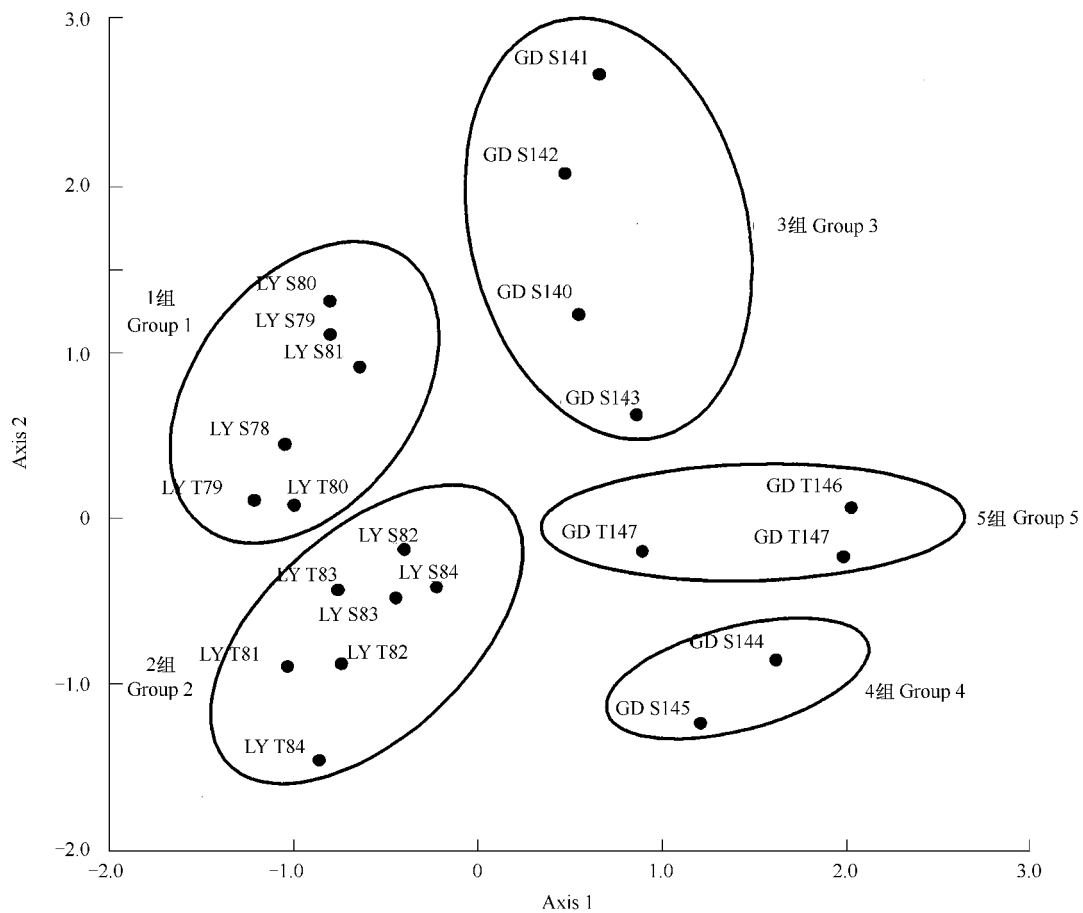


图4 芦芽山、关帝山表土和捕捉器样品 DCA 分析

Fig. 4 Result of DCA ordination of surface and trap samples of Luya and Guandi Mountains

3.4 芦芽山与关帝山花粉组合特征的对比

芦芽山与关帝山花粉组成有明显差异,芦芽山乔木花粉百分比普遍低于 50% (平均值为 29%, 标准差为 14%), 2/3 低于 30%, 松属花粉出现于多数样品 (平均值为 3%, 标准差为 2%), 但百分比多低于 10%, 草本花粉含量多高于 50% (平均值为 61%, 标准差为 12%), 以蒿属为主。关帝山乔木花粉含量多高于 50% (平均值为 70%, 标准差为 19%), 松属花粉出现于多数样品中, 且百分比多大于 20% (平均值为 40%, 标准差为 22%), 草本花粉多低于 30% (平均值为 24%, 标准差为 17%), 蒿低于 20% (平均值为 11%, 标准差为 7%)。即使是相似植被类型如青杆白杆华北落叶松混交林也差异明显。原因可能主要有以下两方面: (1) 芦芽山位于暖温带落叶阔叶林的西北边缘, 西坡基带为草原。而关帝山东、西坡基带均为落叶阔叶林, 湿润度高于芦芽山。(2) 关帝山采样点均位于自然保护区内, 人为干扰和破坏相对较少, 森林恢复较快, 乔木树龄较长, 生长状况良好, 且盖度较高。芦芽山采样点位于保护区外, 人为扰动较大, 森林较稀疏, 且多数乔木木树龄较短, 生长状况不佳。

4 结论

表土和捕捉器样品花粉组合中主要类型与植被组成中优势类型相一致, 表明表土与捕捉器样品均能较好的反映植被特征。

吕梁山中段与北段现代花粉组合特征差异明显, 芦芽山草本花粉占优势, 百分比多高于 50%, 花粉通量 27194 grains/(cm²·a); 关帝山乔木花粉多高于 50%, 松属多高于 20%, 草本花粉多低于 30%, 花粉通量 57961 grains/(cm²·a)。

7 个不同植被类型中,白桦林、白桦山杨杂木林、沙棘灌丛这 3 个植被类型中的捕捉器样品均已丢失,没有花粉通量数据。其余 4 个植被类型中,油松辽东栎混交林花粉通量最高($57961 \text{ grains}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})$),青杆白杆白桦混交林次之($31792 \text{ grains}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})$),青杆白杆华北落叶松混交林为 $12694 \text{ grains}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})$,虎榛子灌丛最低($4240 \text{ grains}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})$)。

样品聚类分析和 DCA 分析结果具有很好的一致性,花粉组合差异最主要的控制因子是温度。

松属、云杉属、蒿属花粉在表土样品中百分比含量高于捕捉器样品,花粉有较强的保存能力。落叶松属、桦属、栎属花粉在表土样品中百分比含量低于捕捉器样品,花粉保存能力相对较差。

本研究花粉通量为 1 年的实验结果,有待于进一步实验去证实和完善。

References:

- [1] Xu Q H, Li Y C, Li Y, *et al.* A Discuss about Modern Pollen and Study of Quaternary Environment. *Progress in Natural Science*, 2006, 16(6): 647—656.
- [2] Davis M B, Brubaker L B, Webb III T. Calibration of absolute pollen influx. In: Birks H. J. B. and West, R. G., eds. *Quaternary Plant Ecology*. Oxford: Blackwell Science, 1973. 9—25.
- [3] Hicks S. Pollen analogues and pollen influx values as tool for interpreting the history of a settlement centre and its hinterland. *Environment and Vikings with Special Reference to Birka*, 1997, 52: 137—150.
- [4] Xu Q H, Li Y C, Yang X L, *et al.* Study on surface pollen of major steppe communities in northern China. *Geographical Research*, 2005, 24(3): 398—402.
- [5] Xu Q H, Li Y C, Zhao D H, *et al.* Surface pollen assemblages from typical shrub communities in North China. *Journal of Palaeogeograph*, 2006, 8(2): 157—164.
- [6] Li Y C, Xu Q H, Xiao J L, *et al.* Indication of some major pollen taxa in surface samples to their parent plants of forest in northern China. *Quaternary Sciences*, 2005, 25(5): 598—608.
- [7] Li Y Y, Zhang X S, Zhou G S. Study of Quantitative Relationships Between Vegetation and Pollen in Surface Samples in the Eastern Forest Area of Northeast China Transect. *Acta Botanica Sinica*, 2000, 42(1): 81—88.
- [8] Liu H P, Tang X C, Pan A D, *et al.* A study on the soil polynofloras of the south slope of shennongjia, Central China. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2001, 19(1): 107—112.
- [9] Yang Z J, Xu Q H, Meng L Y, *et al.* Quantitative Relationship Between Pollen in the Surface Soil and Vegetation in the Yanshan Area. *Acta Phytocologica Sinica*, 2003, 27(6): 804—809.
- [10] Sun X J, Luo Y L, TIAN Jun, *et al.* Pollen record of surface sediments from vertical forest zones of Changbai Mountain, Northeast China and their relations to the modern vegetation. *Acta Botanica Sinica*, 2003, 45(8): 910—916.
- [11] Li X M, Wu S H, Chen H, *et al.* Modern pollen precipitation in the southern slope of the Eastern Qilian Mountains and its relationship to vegetation. *Journal of Beijing Forestry University*, 2004, 26(5): 55—60.
- [12] Tinsley H. Modern pollen deposition in traps on a transect across an anthropogenic tree-line on Exmoor, southwest England: a note summarising the first three years of data. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 2001, 117: 153—158.
- [13] Koff T. Pollen influx into Tauber traps in Estonia in 1997—1998. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 2001, 117: 53—62.
- [14] W O van der Knaap, Jacqueline F N van Leeuwen, Brigitta Ammann. Seven years of annual pollen influx at the forest limit in Swiss Alps studied by pollen traps: relations to vegetation and climate. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 2001, 117: 31—52.
- [15] Hicks S, Tinsley H, Huusko A, *et al.* Some comments on spatial variation in arboreal pollen deposition: first records from the Pollen Monitoring Programme (PMP). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 2001, 117(1—3): 183—194.
- [16] Sun X J, Wu Y S. Modern Pollen Rain in Needle-broad Leaved Mixed Forest of Changbai Mountain. *Acta Botanica Sinica*, 1998, 30(5): 549—557.
- [17] Xu Q H, Li Y C, Zhou L P, *et al.* Primary study on pollen flux and vertical dispersal characteristics of broad-leaved and needle mixed forest in the Changbai Mountains. *Chinese Science Bulletin*, 2007, 52(5): 568—571.
- [18] Zhang T. District of vegetation vertical zone in Luya Mountain, Shanxi. *Scientia Geographica Sinica*, 1989, 9(4): 346—353.
- [19] Xi Y X, Zhang J T, Li J L. Quantitative classification and sorting of subalpine shrub and meadow land communities on Guandi Mountain. *Acta Prataculturae Sinica*, 2004, 13(1): 15—20.
- [20] Tauber H. Investigations of the mode of pollen transfer in forested areas. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 1967, 3: 277—286.

- [21] Feagri K, Iversen J. In: Faegri K, *et al.* eds. Textbook of pollen analysis, 4th ed. Oxford: Blackwell Science, 1989. 3—295.
- [22] Pang Quanguo National Protective region of Shanxi Province. In: Pang Quanguo National Protective region of Shanxi Province. Pang Quanguo Protective region of Shanxi Province. Beijing: Forest Press in China, 1999. 1—111.
- [23] Qiu Y, Zhang J T. The ordination axes cluster ing ba sed on detrended canon ica l correspondence analys is ordination and its application to the analys is of the ecological gradients of plant communities. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(2): 199—206.

参考文献:

- [1] 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*, 2006, 16(6): 647~656.
- [4] 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(3): 398~402.
- [5] 许清海, 李月丛, 等. 中国北方典型灌丛群落表土花粉组合特征. *古地理学报*, 2006, 8(2): 157~164.
- [6] 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(5): 598~608.
- [7] 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(1): 81~88.
- [8] 刘会平, 唐晓春, 潘安定, 等. 神农架南坡表土孢粉植物群初步研究. *沉积学报*, 2001, 19(1): 107~112.
- [9] 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(6): 804~809.
- [11] 吕新苗, 吴绍洪, 陈辉, 等. 东祁连山南坡现代花粉雨与植被. *北京林业大学学报*, 2004, 26(5): 55~60.
- [16] 孙湘君, 吴玉书. 长白山针叶混交林的现代花粉雨. *植物学报*, 1988, 30(5): 549~557.
- [17] 许清海, 李月丛, 等. 长白山针阔混交林带花粉通量及垂直散布特征初步研究. *科学通报*, 2007, 52(5): 568~571.
- [18] 张金屯. 山西芦芽山植被垂直带的划分. *地理科学*, 1989, 9(4): 346~353.
- [19] 席月翔, 张金屯, 李军玲. 关帝山亚高山灌丛草甸群落数量分类与排序研究. *草业学报*, 2004, 13(1): 15~20.
- [22] 山西庞泉沟国家级自然保护区. 见: 山西庞泉沟国家级自然保护区主编. 山西庞泉沟国家级自然保护区. 北京: 中国林业出版社, 1999. 1~111.
- [23] 邱扬, 张金屯. DCCA 排序轴分类及其在关帝山八水沟植物群落生态梯度分析中的应用. *生态学报*, 2000, 20(2): 199~206.