

# 陇中南黄土残塬区表土的孢粉和气孔器特征及相关研究

李永飞<sup>1</sup>, 李春海<sup>2,①</sup>, 许斌<sup>3</sup>, 粟娟<sup>1</sup>

- (1. 吉首大学旅游与管理工程学院 生态旅游湖南省重点实验室, 湖南 张家界 427000;  
2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所 湖泊与环境国家重点实验室, 江苏 南京 210008;  
3. 内江师范学院地理与资源科学学院, 四川 内江 641112)

**摘要:** 对陇中南黄土残塬区 15 个采样点表土中的孢粉和气孔器进行了鉴定,在此基础上,对该区域表土孢粉和气孔器的总体特征及不同植被类型表土的孢粉特征进行了分析,并对各采样点进行了聚类分析,对花粉类型和采样点进行了 DCA 排序分析。结果表明:该区域表土中的孢粉以木本植物花粉为主(花粉百分含量的均值为 71.2%),木本植物与草本植物花粉数量比值的均值为 2.5,主要孢粉类型有松属(*Pinus* Linn.)、云杉属(*Picea* A. Dietr.)、蒿属(*Artemisia* Linn.)和水龙骨科属(*Polypodioides* Ching);气孔器只有柏科(Cupressaceae)、松属和云杉属 3 个类型。针叶林和森林草原表土中的孢粉能够很好地反映母体植被的群落特征,针阔混交林表土中的孢粉能够较好地反映母体植被的群落特征,灌丛表土中的孢粉基本能够反映母体植被的群落特征,落叶阔叶林表土中的孢粉不能反映母体植被的群落特征。聚类分析结果表明:15 个采样点被分成 I、II、III、IV 和 V 5 组,分别包含 1 至 3 号、4 至 9 号、10 号、11 至 13 号及 14 和 15 号采样点,并且,II 组的采样点进一步分成 2 个小组,而 III 和 IV 组的采样点可聚在一起,说明该区域落叶阔叶林表土的孢粉组成差异较大,林地与灌丛和森林草原表土的孢粉组成差异较大,林地边缘区域表土的孢粉组成受外界孢粉散播干扰明显。DCA 排序分析结果表明:花粉类型和采样点沿排序轴分类明显。研究结果显示:在陇中南黄土残塬区,松属、云杉属和蒿属植物花粉具有超代表性,孢粉和气孔器数据相结合能够准确指示该区域母体植物的分布状况,利用孢粉的百分含量可较好地地区分该区域的植被类型。

**关键词:** 孢粉; 气孔器; 陇中南黄土残塬区; 聚类分析; DCA 排序分析

中图分类号: Q944.571 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2019)03-0001-11  
DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2019.03.01

**Characteristics of sporopollen and stomatal apparatus in surface soil from Loess Broken Plateau Area in the Central South of Gansu Province and related research** LI Yongfei<sup>1</sup>, LI Chunhai<sup>2,①</sup>, XU Bin<sup>3</sup>, SU Juan<sup>1</sup> (1. Hu'nan Provincial Key Laboratory of Ecological Tourism, College of Tourism and Management Project, Jishou University, Zhangjiajie 427000, China; 2. State Key Laboratory of Lake and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 3. School of Geography and Resource Science, Neijiang Normal University, Neijiang 641112, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2019, 28(3): 1-11

**Abstract:** Sporopollen and stomatal apparatus in surface soil of 15 sampling sites from Loess Broken Plateau Area in the Central South of Gansu Province were identified, on the basis, general characteristics of sporopollen and stomatal apparatus in surface soil of this area and sporopollen characteristics in surface soil of different vegetation types were analyzed, and cluster analysis on each sampling site was conducted, DCA ordination analyses on pollen type and sampling site were performed. The results show that

收稿日期: 2018-10-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41172151; 41372183; 41401092; 41861031); 四川省教育厅科研项目(17ZB0221); 四川气象灾害预测预警与应急管理研究中心开放基金项目(ZHYJ16-YB04)

作者简介: 李永飞(1976—),男,湖南永兴人,博士,副教授,主要从事湖泊沉积与环境演变和第四纪孢粉学研究。

①通信作者 E-mail: chhli@niglas.ac.cn

sporopollen in surface soil of this area is mainly woody plant pollen (mean of pollen percentage is 71.2%), and mean ratio of pollen number of woody plants to that of herbaceous plants is 2.5, the main sporopollen types are *Pinus* Linn., *Picea* A. Dietr., *Artemisia* Linn., and *Polypodiodes* Ching; stomatal apparatuses only have 3 types of Cupressaceae, *Pinus*, and *Picea*. Sporopollens in surface soil of coniferous forest and forest steppe can nicely reflect the community characteristics of parent vegetation, that of coniferous and broad-leaved mixed forest can do well, and that of shrub can do basically, while that of deciduous broad-leaved forest cannot do. The cluster analysis result shows that 15 sampling sites are divided into 5 groups of I, II, III, IV, and V, which contain Nos. of 1-3, 4-9, 10, 11-13, and 14 and 15 sampling sites, respectively; and sampling sites in group II are further divided into 2 small groups, while those in group III and group IV can be clustered together, indicating that there is a relatively big difference in composition of sporopollen in surface soil of deciduous broad-leaved forest in this area, and there are relatively big differences in composition of sporopollen in surface soil of forest land with shrub and forest steppe, and composition of sporopollen in surface soil of forest land margin area is evidently interfered by external sporopollen spread. The DCA ordination analysis result shows that the classification of pollen type and sampling site are evident along the ordination axes. It is suggested that in Loess Broken Plateau Area in the Central South of Gansu Province, pollens of *Pinus*, *Picea*, and *Artemisia* plants have super-representations, combining data of sporopollen and stomatal apparatus can accurately indicate the distribution status of parent plants in this area, and percentage of sporopollen can be used to distinguish vegetation type in this area.

**Key words:** sporopollen; stomatal apparatus; Loess Broken Plateau Area in the Central South of Gansu Province; cluster analysis; DCA ordination analysis

孢粉分析 (sporopollen analysis) 即孢子花粉分析, 是第四纪植被演化和环境重建的主要方法之一<sup>[1-2]</sup>。然而, 由于孢粉形态特征、产量、传播、沉积和保存环境等因子的影响, 利用孢粉数据重建古植被和古环境往往受限<sup>[3-4]</sup>。研究表明: 部分植物花粉具有低代表性, 其花粉含量即使在母体植物纯林表土样品中仍较低, 如落叶松属 (*Larix* Mill.)<sup>[5]</sup>; 另有部分植物花粉具有超代表性, 其花粉含量在没有母体植物分布的极地湖泊表层沉积物中仍较高, 如松属 (*Pinus* Linn.) 和云杉属 (*Picea* A. Dietr.)<sup>[6-7]</sup>。针叶树气孔器是地层沉积过程中保存下来的木质化的保卫细胞, 仅散落于距母体植物 20 m 范围内, 是对孢粉数据的重要补充, 对于重建古植被具有重要作用<sup>[8]</sup>。若在地层土样中发现针叶树气孔器则表明母体植物在当地生长, 在埋藏学上可替代植物大化石<sup>[9]</sup>。国外学者已经尝试采用气孔器辅助孢粉数据来恢复古植被, 重建古环境, 并已取得较大的研究进展<sup>[10-11]</sup>, 但国内相关研究尚处于起步阶段, 仅利用气孔器开展了植被和生态方面的初步研究<sup>[9, 12-13]</sup>。

青藏高原深居大陆内部, 与海洋相距甚远, 具有明显的温带大陆性气候特征, 该区域生态环境脆弱, 植被对环境变化敏感, 具有重要的生态学研究价值。青藏高原东部边缘区位于青藏高原与黄土高原的过渡区域, 属于西北季风边缘区<sup>[14]</sup>, 为甘肃黄土高原南

部中段残塬暖温性森林草原植被小区, 该区域的主要建群植物种类有白羊草 [*Bothriochloa ischaemum* (Linn.) Keng]、华北米蒿 (*Artemisia giraldii* Pamp.) 和长芒草 (*Stipa bungeana* Trin.) 等; 海拔 1 000 m 以下的河谷地有野古草 (*Arundinella anomala* Steud.)、黄背草 [*Themeda japonica* (Willd.) Tanaka] 和大油芒 (*Spodiopogon sibiricus* Trin.) 等暖季型禾草, 果树有桑 (*Morus alba* Linn.)、柿 (*Diospyros kaki* Thunb.)、李 (*Prunus salicina* Lindl.)、石榴 (*Punica granatum* Linn.) 和苹果 (*Malus pumila* Mill.) 等, 农作物有冬小麦 (*Triticum aestivum* Linn.)、高粱 [*Sorghum bicolor* (Linn.) Moench]、谷子 [*Setaria italica* (Linn.) P. Beauv.] 和玉米 (*Zea mays* Linn.) 等; 低山丘陵区有沙棘 (*Hippophae rhamnoides* Linn.)、白刺花 [*Sophora davidii* (Franch.) Skeels] 和虎榛子 (*Ostryopsis davidiana* Decne.) 等; 山地有辽东栎 (*Quercus wutaishanica* Mayr)、油松 (*Pinus tabulaeformis* Carr.)、华山松 (*Pinus armandii* Franch.) 和侧柏 [*Platycladus orientalis* (Linn.) Franco] 等<sup>[15]</sup><sup>170</sup>。

为了探明青藏高原表土孢粉和气孔器的数量特征及其与母体植物的关系, 作者在甘肃省中部偏南的贵清山和莲峰山选取 15 个采样点, 对各采样点表土中的孢粉和气孔器进行了鉴定, 在此基础上, 对陇中南黄土残塬区表土孢粉和气孔器的总体特征及不同

植被类型表土的孢粉特征进行了分析,并对各采样点进行了聚类分析,对花粉类型和采样点进行了DCA排序分析,以期明确陇中南黄土残塬区不同植被带的孢粉谱特征和主要变化趋势,为该区域及青藏高原的植被和环境重建提供基础资料。

## 1 研究区概况和研究方法

### 1.1 研究区概况

本研究区位于甘肃省中部偏南区域,包括漳县南部的贵清山和渭源县东南部的莲峰山。其中,贵清山海拔1 820~2 980 m,东西长约12 km,南北宽约10 km,面积14.67 km<sup>2</sup>;莲峰山海拔2 214~2 441 m,东西长约7 km,南北宽约5 km,面积1.98 km<sup>2</sup>。该研究区属西秦岭地槽褶皱系(包括加里东—海西褶皱带和北秦岭槽背斜),处于秦岭、青藏高原和黄土高原的交汇区,为典型的黄土高原丘陵沟壑向山地过渡地带,多峰谷,为侵蚀中山地貌,相对高差1 160 m,切割深度400~500 m,山坡坡度30°~45°。该区域属中温多雨半湿润季风气候,年平均气温5℃~7℃,7月平均气温25.3℃,1月平均气温-5.9℃,≥10℃年积温2 000℃~2 500℃,年降水量450~550 mm,雨季(6月至9月)降水量占全年降水量的70%以上,空气相对湿度30%~40%,无霜期159~167 d;地带性土壤主要为褐土、山地草甸草原土和亚高山灌丛草甸土<sup>[15]30,[16]</sup>。

该研究区的地带性植被为森林草原,植被类型从山麓至山顶依次为森林草原、灌丛、落叶阔叶林、针阔混交林和针叶林<sup>[15]160-162</sup>。森林草原分布在海拔2 000~2 100 m区域,主要建群种有华北米蒿、白羊草和长芒草,乔木种类很少,多为灌丛,酸枣[*Ziziphus jujuba* var. *spinosa* (Bunge) Hu ex H. F. Chow]和白刺花占有明显优势,并可见冰草[*Agropyron cristatum* (Linn.) Gaertn.]、野古草、大油芒和黄背草等草本植物种类。灌丛分布在海拔2 100~2 200 m区域,主要灌木种类有沙棘、白刺花和虎榛子等,草本植物包括菊科(Asteraceae)、豆科(Fabaceae)和唇形科(Lamiaceae)等种类。落叶阔叶林分布在海拔2 200~2 300 m区域,乔木层优势种有红桦(*Betula albosinensis* Burk.)和辽东栎,伴生种有油松、长尾槭(*Acer caudatum* Wall.)、牛皮桦(*Betula albosinensis* var. *septantrionalis* C. K. Schneid.)和鹅耳枥(*Carpinus*

*turczaninowii* Hance);灌木层主要种类有峨眉蔷薇(*Rosa omeiensis* Rolfe)、太白杜鹃(*Rhododendron purdomii* Rehd. et Wils.)、箭竹(*Fargesia spathacea* Franch.)、桦叶荚蒾(*Viburnum betulifolium* Batal.)、冰川茶藨子(*Ribes glaciale* Wall.)、刺毛忍冬(*Lonicera hispida* var. *setosa* Hook. f. et Thoms.)和陇东海棠[*Malus kansuensis* (Batal.) Schneid.]等;草本层主要种类有大花糙苏(*Phlomis megalantha* Diels)、高山露珠草(*Circaea alpina* Linn.)、花葱(*Polemonium coeruleum* Linn.)和大披针藁草(*Carex lanceolata* Boott)等。针阔混交林分布在海拔2 300~2 400 m区域,乔木层主要种类有华山松、辽东栎和槭树(*Acer* sp.),并混生有云杉(*Picea asperata* Mast.)、山杨(*Populus davidiana* Dode)、白桦(*Betula platyphylla* Suk.)、鹅耳枥和侧柏等种类;灌木层主要种类有甘肃山楂(*Crataegus kansuensis* Wils.)、水栒子(*Cotoneaster multiflorus* Bge.)、小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla* Lam.)、多花木蓝(*Indigofera amblyantha* Craib)和牛奶子(*Elaeagnus umbellata* Thunb.)等;草本层主要种类有羊胡子草[*Carex rigescens* (Franch.) V. I. Krecz]、唐松草(*Thalictrum aquilegifolium* var. *sibiricum* Regel et Tiling)、龙芽草(*Agrimonia pilosa* Ldb.)、黄芩(*Scutellaria baicalensis* Georgi)、柴胡(*Bupleurum chinense* DC.)、地榆(*Sanguisorba officinalis* Linn.)、阿尔泰狗娃花[*Heteropappus altaicus* (Willd.) Novopokr.]、异叶败酱(*Patrinia heterophylla* Bunge)和细裂叶莲蒿(*Artemisia gmelinii* Web. ex Stechm.)等。针叶林分布在海拔2 300~2 500 m区域,主要种类有云杉、紫果云杉(*Picea purpurea* Mast.)、大果青扦(*Picea neveitchii* Mast.)、青扦(*Picea wilsanii* Mast.)和岷江冷杉(*Abies faxoniana* Rehd.)等,伴生种有华山松和侧柏。

### 1.2 研究方法

1.2.1 取样方法 在研究区内选取15个缓坡或平坦开阔地作为采样点,采用全球定位系统(GPS)记录采样点的纬度、经度和海拔,并调查各采样点的植被状况。各采样点的具体位置和植被状况见表1。其中,针叶林、针阔混交林和落叶阔叶林采样点面积为10 m×10 m,灌丛和森林草原采样点面积为5 m×5 m。采用梅花五点法采集各采样点的表土(即地表1~2 cm层的松散堆积物),将每个采样点的5份样品混匀后用于孢粉和气孔器鉴定。

表 1 陇中南黄土残塬区 15 个采样点的具体位置和植被状况

Table 1 Specific location and vegetation status of 15 sampling sites from Loess Broken Plateau Area in the Central South of Gansu Province

编号 No.	纬度 Latitude	经度 Longitude	海拔/m Altitude	样品类型 Sample type	植被类型 Vegetation type	主要植物种类 <sup>1)</sup> Main plant species <sup>1)</sup>
1	N34°38'08.3"	E104°27'59.6"	2 460	苔藓 Moss	针叶林 Coniferous forest	PP
2	N34°38'08.9"	E104°27'58.1"	2 400	苔藓 Moss	针叶林 Coniferous forest	PP, PAR
3	N34°59'25.7"	E104°14'13.5"	2 400	苔藓 Moss	针叶林 Coniferous forest	PAS, PAR
4	N35°02'44.6"	E104°07'54.2"	2 330	苔藓 Moss	针叶林 Coniferous forest	PAR
5	N34°59'25.4"	E104°14'18.0"	2 360	苔藓 Moss	针阔混交林 Coniferous and broad-leaved mixed forest	PAR, QW
6	N34°59'19.8"	E104°14'16.8"	2 360	苔藓 Moss	针阔混交林 Coniferous and broad-leaved mixed forest	PAR, QW, AS
7	N34°38'01.7"	E104°27'48.3"	2 320	苔藓 Moss	针阔混交林 Coniferous and broad-leaved mixed forest	PAR, LJ, AS
8	N34°38'08.6"	E104°14'18.3"	2 310	苔藓 Moss	落叶阔叶林 Deciduous broad-leaved forest	AS, LJ, BS, PT
9	N34°38'00.0"	E104°27'47.2"	2 280	苔藓 Moss	落叶阔叶林 Deciduous broad-leaved forest	Co, AG, PS, AS
10	N34°59'31.8"	E104°14'15.6"	2 240	苔藓 Moss	落叶阔叶林 Deciduous broad-leaved forest	UP, PSI
11	N34°59'27.2"	E104°14'20.1"	2 240	苔藓 Moss	落叶阔叶林 Deciduous broad-leaved forest	CT, QW
12	N34°37'53.3"	E104°30'32.8"	2 220	苔藓 Moss	落叶阔叶林 Deciduous broad-leaved forest	AS
13	N34°37'39.1"	E104°32'19.8"	2 180	苔藓 Moss	落叶阔叶林 Deciduous broad-leaved forest	AS
14	N34°37'32.3"	E104°37'32.3"	2 102	表土 Surface soil	灌丛 Shrub	As, Fa, La, SS, PS, QW
15	N34°37'25.8"	E104°34'29.3"	2 068	苔藓 Moss	森林草原 Forest steppe	ZJS, SD

<sup>1)</sup> PP: 紫果云杉 *Picea purpurea* Mast.; PAR: 华山松 *Pinus armandii* Franch.; PAS: 云杉 *Picea asperata* Mast.; QW: 辽东栎 *Quercus wutaishanica* Mayr.; AS: 槭树 *Acer* sp.; LJ: 忍冬 *Lonicera japonica* Thunb.; BS: 桦树 *Betula* sp.; PT: 油松 *Pinus tabulaeformis* Carr.; Co: 山茱萸科 *Cornaceae*; AG: 五加 *Acanthopanax gracilistylus* W. W. Smith; PS: 杨树 *Populus* sp.; UP: 榆树 *Ulmus pumila* Linn.; PSI: 小叶杨 *Populus simonii* Carr.; CT: 鹅耳枥 *Carpinus turczaninowii* Hance; As: 菊科 *Asteraceae*; Fa: 豆科 *Fabaceae*; La: 唇形科 *Lamiaceae*; SS: 柳树 *Salix* sp.; ZJS: 酸枣 *Ziziphus jujuba* var. *spinosa* (Bunge) Hu ex H. F. Chow; SD: 白刺花 *Sophora davidii* (Franch.) Skeels.

1.2.2 孢粉和气孔器鉴定 采用常规的酸碱处理方法和重液浮选法<sup>[17]</sup>处理样品,每个采样点称取 10~15 g 样品,去除样品中的碳酸盐、硅酸盐、腐殖质和有机质等,在超声波振荡器中 25 kHz 振荡 10 s,用孔径 10 μm 的筛网富集孢粉和气孔器,加入甘油保存、备用。

依照植物孢粉形态相关书籍和期刊<sup>[18-21]</sup>,使用 10×40 倍 Carl Zeiss AxioStar plus 光学生物显微镜(德国 Carl Zeiss 公司)鉴定孢粉类型并统计孢粉数量;根据相关研究结果<sup>[9-10,22]</sup>鉴定气孔器类型并统计气孔器数量。

### 1.3 数据处理及统计分析

采用 EXCEL 2007 软件处理相关数据,并计算各采样点不同类型孢粉和气孔器的百分含量以及木本植物与草本植物花粉数量的比值( $R$ ),计算公式分别为某采样点样品中某类型孢粉或气孔器的百分含量=(该采样点样品中此类型孢粉或气孔器的数量/该采样点样品中陆生种子植物的花粉总数)×100%和  $R$ =某采样点木本植物花粉数量/该采样点草本植物花粉数量,并计算各植被类型及所有采样点的  $R$  值,计算公式为  $R$ =某植被类型或所有采样点木本植物花粉数量均值/该植被类型或所有采样点草本植物花粉数量均值。此外,运用 Tilia 2.0 软件对 15 个采

样点进行聚类分析<sup>[23]</sup>,并利用 Canoco 4.5 软件对花粉类型和采样点进行 DCA 排序分析<sup>[24]</sup>。

## 2 结果和分析

### 2.1 孢粉和气孔器的总体特征

2.1.1 孢粉的总体特征 孢粉统计结果(表 2)表明:陇中南黄土残塬区 15 个采样点表土中的孢粉类型共 38 个,主要孢粉类型有 23 个,包括松属、冷杉属(*Abies* Mill.)和云杉属 3 个针叶树类型,桦木属(*Betula* Linn.)、榆属(*Ulmus* Linn.)、胡桃属(*Juglans* Linn.)、栎属(*Quercus* Linn.)和椴树属(*Tilia* Linn.) 5 个阔叶树类型,柳属(*Salix* Linn.)、鼠李属(*Rhamnus* Linn.)、忍冬科(*Caprifoliaceae*)和蔷薇科(*Rosaceae*) 4 个灌木类型,蒿属(*Artemisia* Linn.)、菊科其他属、藜科(*Chenopodiaceae*)、十字花科(*Brassicaceae*)、大戟科(*Euphorbiaceae*)、蓼属(*Polygonum* Linn.)、唐松草属(*Thalictrum* Linn.)、毛茛科其他属和豆科 9 个草本类型,以及水龙骨科(*Polypodiodes* Ching)和鳞盖蕨属(*Microlepia* Presl) 2 个蕨类类型。

由表 2 还可以看出,陇中南黄土残塬区表土中的孢粉以木本植物花粉为主,其花粉百分含量的均值为 71.2%。在统计的不同类型木本植物花粉中,针叶树

表2 陇中南黄土残塬区表土中不同类型孢粉的百分含量

Table 2 Percentage of different types of sporopollens in surface soil from Loess Broken Plateau Area in the Central South of Gansu Province

孢粉类型 Sporopollen type	各采样点样品中孢粉的百分含量/% <sup>1)</sup>															Percentage of sporopollen in sample from each sampling site <sup>1)</sup>
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	M
针叶树 Coniferous tree	84.6	52.1	83.7	79.6	90.1	87.9	43.0	84.5	89.7	20.1	84.0	52.4	79.1	4.6	3.4	62.6
松属(松科) <i>Pinus</i> (Pinaceae)	31.4	46.3	29.6	76.0	81.1	70.0	36.3	81.0	80.3	15.8	79.6	49.1	68.3	4.6	3.4	50.2
冷杉属(松科) <i>Abies</i> (Pinaceae)	4.3	0.3	5.4	0.0	1.3	2.6	0.0	0.4	0.0	0.0	0.4	0.5	0.5	0.0	0.0	1.0
铁杉属(松科) <i>Tsuga</i> (Pinaceae)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	0.1
云杉属(松科) <i>Picea</i> (Pinaceae)	48.9	5.5	48.7	3.6	7.7	15.3	6.7	3.1	9.4	4.3	4.0	2.8	8.9	0.0	0.0	11.3
阔叶树 Broad-leaved tree	2.2	0.3	2.9	2.6	0.9	0.5	0.4	2.2	0.0	48.3	6.0	0.0	1.9	2.9	12.6	5.6
桤木属(桦木科) <i>Alnus</i> (Betulaceae)	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0	0.4	1.3	0.3
桦木属(桦木科) <i>Betula</i> (Betulaceae)	1.4	0.0	2.0	1.5	0.6	0.0	0.4	0.4	0.0	8.3	0.4	0.0	0.3	2.1	6.0	1.6
鹅耳枥属(桦木科) <i>Carpinus</i> (Betulaceae)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.2
榆属(榆科) <i>Ulmus</i> (Ulmaceae)	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	0.4	1.6	0.3
朴属(榆科) <i>Celtis</i> (Ulmaceae)	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
胡桃属(胡桃科) <i>Juglans</i> (Juglandaceae)	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	0.4
栎属(壳斗科) <i>Quercus</i> (Fagaceae)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	31.1	0.0	0.0	0.3	0.0	0.3	2.1
枞属(木犀科) <i>Fraxinus</i> (Oleaceae)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.1
椴树属(椴树科) <i>Tilia</i> (Tiliaceae)	0.3	0.0	0.6	0.3	0.3	0.5	0.0	0.9	0.0	0.2	5.6	0.0	0.5	0.0	0.0	0.6
灌木 Shrub	1.1	6.2	1.4	2.8	2.5	5.2	0.0	2.6	3.0	2.0	3.2	6.5	2.9	1.1	5.3	3.1
麻黄属(麻黄科) <i>Ephedra</i> (Ephedraceae)	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
榛属(桦木科) <i>Corylus</i> (Betulaceae)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.1
柳属(杨柳科) <i>Salix</i> (Salicaceae)	0.3	2.6	0.3	0.3	0.3	0.5	0.0	0.4	0.0	0.9	0.0	0.9	0.5	0.0	1.6	0.6
鼠李属(鼠李科) <i>Rhamnus</i> (Rhamnaceae)	0.8	3.6	1.1	2.0	2.2	4.2	0.0	1.8	3.0	0.0	2.8	5.6	2.4	0.0	3.7	2.2
忍冬科 Caprifoliaceae	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
蔷薇科 Rosaceae	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.4	0.0	0.1
草本 Herb	12.0	41.6	12.3	15.2	6.3	6.2	56.4	10.6	7.5	29.7	6.8	41.2	16.1	91.5	78.8	28.8
禾本科 Poaceae	0.8	0.0	0.0	0.8	0.0	0.5	0.4	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.5	0.4	0.0	0.3
蒿属(菊科) <i>Artemisia</i> (Asteraceae)	8.6	36.2	8.5	10.5	3.5	0.5	55.2	7.5	6.1	11.0	4.8	26.4	6.8	57.5	50.9	19.6
其他属(菊科) Other genera (Asteraceae)	1.6	1.0	0.3	0.0	0.3	1.1	0.0	0.0	0.5	1.1	0.8	1.4	0.0	18.6	23.9	3.4
藜科 Chenopodiaceae	0.5	2.0	1.4	1.3	0.6	2.6	0.4	1.8	0.3	0.0	1.2	1.9	1.1	5.0	1.6	1.4
伞形科 Apiaceae	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.5	0.1
十字花科 Brassicaceae	0.5	0.7	0.6	0.8	1.9	0.5	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0	4.6	0.3	0.4	1.6	0.9
大戟科 Euphorbiaceae	0.0	0.7	0.3	0.5	0.0	0.5	0.4	0.4	0.3	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.2
蓼属(蓼科) <i>Polygonum</i> (Polygonaceae)	0.0	0.7	0.6	1.0	0.0	0.5	0.0	0.9	0.3	0.7	0.0	0.9	0.8	1.4	0.0	0.5
唐松草属(毛茛科) <i>Thalictrum</i> (Ranunculaceae)	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.7	0.0	0.0	0.0	3.2	0.0	0.3
其他属(毛茛科) Other genera (Ranunculaceae)	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.3	2.9	0.0	1.1
唇形科 Lamiaceae	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.1
豆科 Fabaceae	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	4.6	6.0	0.7	0.0	0.8
莎草科 Cyperaceae	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0
蕨类 Fern	1.8	17.6	15.5	2.5	20.2	53.7	89.2	19.0	2.6	1.1	24.4	55.1	17.1	0.7	0.8	21.4
水龙骨科(水龙骨科) <i>Polypodioides</i> (Polypodiaceae)	0.5	16.6	15.2	1.5	20.2	52.1	84.8	15.9	1.8	0.7	5.2	15.3	6.5	0.7	0.5	15.8
石松属(石松科) <i>Lycopodium</i> (Lycopodiaceae)	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
石韦属(水龙骨科) <i>Pyrrosia</i> (Polypodiaceae)	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	0.0	0.0	0.2	0.0	1.9	0.8	0.0	0.0	0.5
卷柏科 Selaginellaceae	0.8	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.3	0.0	0.3	0.2
鳞盖蕨属(碗蕨科) <i>Microlepia</i> (Dennstaedtiaceae)	0.0	0.0	0.3	1.0	0.0	1.1	0.4	3.1	0.8	0.2	19.2	37.0	9.5	0.0	0.0	4.8
其他三缝孢类 Other trilites	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
$R^2$	7.2	1.4	7.3	5.6	14.6	14.8	0.8	8.4	12.6	2.4	13.7	1.4	5.3	0.1	0.3	2.5
孢粉数 Sporopollen number	377	361	410	401	375	292	422	269	405	449	311	335	432	282	384	367

<sup>1)</sup> 1-15: 采样点编号 Nos. of sampling sites; M: 均值 Mean.<sup>2)</sup> R: 木本植物与草本植物花粉数量的比值 Ratio of pollen number of woody plants to that of herbaceous plants.

花粉的百分含量最高(均值为62.6%),阔叶树花粉的百分含量次之(均值为5.6%),灌木植物花粉的百分含量最低(均值为3.1%)。并且,该区域草本植物花粉百分含量的变化幅度较大(6.2%~91.4%),均值为28.8%;蕨类植物孢子百分含量的变化幅度最大(0.7%~89.2%),均值为21.4%。在针叶树花粉中,松属植物花粉的百分含量最高(均值为50.2%),云杉属植物花粉的百分含量较高(均值为11.3%),冷杉属植物花粉的百分含量较低(均值为1.0%);在阔叶树花粉中,桦属和栎属花粉的百分含量明显高于其他类型花粉,均值分别为1.6%和2.1%;在灌木植物花粉中,柳属和鼠李属花粉的百分含量较高,均值分别为2.2%和0.6%;在草本植物花粉中,蒿属植物花粉的百分含量最高(均值为19.6%),菊科其他属、藜科和唐草属植物花粉的百分含量也较高(均值分别为3.4%、1.4%和1.1%)。在蕨类植物孢子中,水龙骨属和鳞盖蕨属孢子的百分含量均较高(均值分别为15.8%和4.8%)。统计结果显示:供试15个采样点木本植物与草本植物花粉数量的比值为0.1~14.8,均值为2.5,说明陇中南黄土残塬区表土中的木本植物花粉具有绝对优势。

值得注意的是,在陇中南黄土残塬区15个采样点的表土中均存在松属植物花粉,并且,作者在野外调查时发现2至8号采样点附近生长有华山松或油松等松属植物,这7个采样点表土中松属植物花粉的百分含量均值为60.0%;1号以及9至15号采样点附近未见松属植物,但这8个采样点表土中松属植物花粉的百分含量为41.5%。1至13号采样点表土中均存在云杉属植物花粉,并且,1至3号和6号采样点附近生长有云杉属植物,这4个采样点表土中云杉属植物花粉的百分含量均值为30.0%;4和5号及7至13号采样点附近未见云杉属植物,但这9个采

样点表土中云杉属植物花粉的百分含量均值为5.0%。供试15个采样点的表土中均存在蒿属植物花粉,并且,14和15号采样点华北米蒿和细裂叶莲蒿分布广泛,这2个采样点表土中蒿属植物花粉的百分含量均值为54.2%;1至13号采样点附近未见蒿属植物,但这13个采样点表土中蒿属植物花粉的百分含量均值为14.3%。上述研究结果表明:在陇中南黄土残塬区,松属、云杉属和蒿属植物花粉均具有超代表性。

2.1.2 气孔器的总体特征 气孔器统计结果(表3)表明:陇中南黄土残塬区15个采样点表土中的气孔器有柏科(Cupressaceae)、松属和云杉属3个类型,在该区域表土中百分含量的均值分别为0.8%、5.5%和2.2%。样品中共统计到气孔器422.5个,包括松属植物气孔器262.0个、云杉属植物气孔器117.5个和柏科植物气孔器43.0个,百分含量分别为6.7%、2.8%和1.1%。2至5号以及7至9号采样点表土中均存在松属植物气孔器,这7个采样点表土中松属植物气孔器的百分含量均值为11.8%,结合野外调查结果,除6号采样点外,其余6个采样点表土中的松属植物气孔器与母体植物对应性良好。值得注意的是,虽然在野外调查时发现6号采样点附近生长有华山松但并未在其表土中发现松属植物气孔器;而9号采样点附近虽然未见松属植物,但其表土中却存在松属植物气孔器。在1至3号和6号采样点表土中均存在云杉属植物气孔器,这4个采样点表土中云杉属植物气孔器的百分含量均值为8.3%,结合野外调查结果,这4个采样点表土中的云杉属植物气孔器与母体植物完全对应。3和5号采样点表土中均存在柏科植物气孔器,这2个采样点表土中柏科植物气孔器的百分含量均值为6.2%,而在野外调查时3和5号采样点附近未见柏科植物。

表3 陇中南黄土残塬区表土中不同类型气孔器的百分含量

Table 3 Percentage of different types of stomatal apparatuses in surface soil from Loess Broken Plateau Area in the Central South of Gansu Province

气孔器类型 Stomatal apparatus type	各采样点样品中气孔器的百分含量/% <sup>1)</sup>															Percentage of stomatal apparatus in sample from each sampling site <sup>1)</sup>
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
柏科 Cupressaceae	0.0	0.0	11.3	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8
松属(松科) <i>Pinus</i> (Pinaceae)	0.0	3.3	33.2	4.3	7.4	0.0	4.3	19.7	10.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5
云杉属(松科) <i>Picea</i> (Pinaceae)	6.8	0.7	25.4	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2
气孔器数 Stomatal apparatus number	25.0	12.0	248.0	17.0	26.0	0.5	9.5	44.5	40.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.2

<sup>1)</sup> 1-15: 采样点编号 Nos. of sampling sites; M: 均值 Mean.

## 2.2 不同植被类型表土的孢粉特征

2.2.1 针叶林表土的孢粉特征 在供试的4个针叶林采样点表土中,针叶树花粉的百分含量最高(均值为75.0%),阔叶树和灌木植物花粉的百分含量较低(均值分别为2.0%和2.9%),草本植物花粉的百分含量较高(均值为20.3%),蕨类植物孢子百分含量的均值为9.4%。在针叶树花粉中,松属植物花粉的百分含量最高(均值为45.8%),云杉属植物花粉的百分含量较高(均值为26.7%),冷杉属植物花粉的百分含量较低(均值为2.5%)。在阔叶树花粉中,主要有桦木属、榆属、胡桃属和椴树属4个类型,且花粉的百分含量均很低。在灌木植物花粉中,主要有柳属和鼠李属2个类型,其花粉百分含量的均值分别为0.9%和1.9%。在草本植物花粉中,蒿属植物花粉的百分含量最高(均值为15.9%),藜科植物花粉的百分含量次之(均值为1.3%)。统计结果显示:供试的4个针叶林采样点表土中木本植物与草本植物花粉数量的比值为1.4~7.3,均值为4.0。

2.2.2 针阔混交林表土的孢粉特征 在供试的3个针阔混交林采样点表土中,针叶树花粉的百分含量最高(均值为73.7%),阔叶树和灌木植物花粉的百分含量较低(均值分别为0.6%和2.6%),草本植物花粉的百分含量较高(均值为23.0%),蕨类植物孢子百分含量的均值为54.4%。在针叶树花粉中,松属植物花粉的百分含量最高(均值为62.5%),云杉属植物花粉的百分含量较高(均值为9.9%),冷杉属植物花粉的百分含量较低(均值为1.3%)。在阔叶树花粉中,主要有桦木属和椴树属2个花粉类型,其花粉百分含量的均值均为0.3%。在灌木植物花粉中,主要有柳属、鼠李属和忍冬科3个花粉类型,其花粉百分含量的均值分别为0.3%、2.1%和0.2%。在草本植物花粉中,蒿属植物花粉的百分含量最高(均值为19.7%),藜科植物花粉的百分含量次之(均值为1.2%)。统计结果显示:供试的3个针阔混交林采样点表土中木本植物与草本植物花粉数量的比值为0.8~14.8,均值为3.3。

2.2.3 落叶阔叶林表土的孢粉特征 在供试的6个落叶阔叶林采样点表土中,针叶树花粉含量最高(均值为68.3%),阔叶树和灌木植物花粉的百分含量较低(均值分别为9.7%和3.4%),草本植物花粉的百分含量较高(均值为18.7%),蕨类植物孢子百分含量的均值为19.9%。在针叶树花粉中,松属植物花

粉的百分含量最高(均值为62.4%),云杉属植物花粉的百分含量较高(均值为5.4%),冷杉属植物花粉的百分含量较低(均值为0.3%)。在阔叶树花粉中,栎属植物花粉的百分含量最高(均值为5.2%),桦木属、榆属、胡桃属和椴树属植物花粉的百分含量均较低(均值分别为1.6%、0.4%、0.6%和1.2%)。在灌木植物花粉中,主要有柳属、鼠李属和蔷薇科3个花粉类型,其花粉百分含量的均值分别为0.5%、2.6%和0.1%。在草本植物花粉中,蒿属植物花粉的百分含量最高(均值为10.4%),唐松草属和豆科植物花粉的百分含量次之(均值分别为2.3%和1.8%)。统计结果显示:供试的6个落叶阔叶林采样点表土中木本植物与草本植物花粉数量的比值为1.4~13.7,均值为4.4。

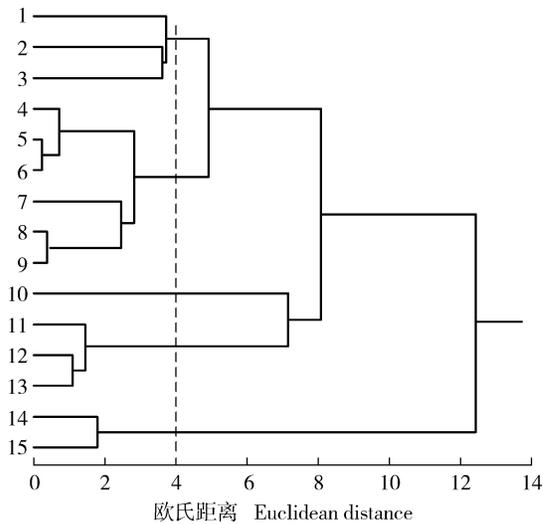
2.2.4 灌丛表土的孢粉特征 供试的灌丛采样点只有1个,该采样点表土中针叶树、阔叶树和灌木植物花粉的百分含量均较低(分别为4.6%、2.9%和1.1%),草本植物花粉的百分含量最高(91.5%),蕨类植物孢子的百分含量最低(0.7%)。其中,针叶树花粉仅有松属1个类型;阔叶树花粉有桦木属、榆属和桤木属(*Alnus Mill.*)3个类型,以桦木属为主(花粉百分含量为6.0%);灌木植物花粉仅有榛属(*Corylus Linn.*)和蔷薇科2个类型;在草本植物花粉中,蒿属植物花粉的百分含量最高(57.5%),菊科其他属植物花粉的百分含量次之(18.6%),藜科、十字花科、蓼属、唐松草属、毛茛科其他属和豆科植物花粉的百分含量均较低,均不超过5%。统计结果显示:供试的灌丛采样点表土中木本植物与草本植物花粉数量的比值为0.1。

2.2.5 森林草原表土的孢粉特征 供试的森林草原采样点也只有1个,该采样点表土中针叶树、阔叶树和灌木植物花粉的百分含量均较低(分别为3.4%、12.6%和5.2%),草本植物花粉的百分含量最高(78.8%),蕨类植物孢子的百分含量最低(0.8%)。其中,针叶树花粉仅有松属1个类型;阔叶树花粉有桦木属、榆属、胡桃属和栎属等,以栎属为主(花粉百分含量为2.1%);灌木植物花粉仅有柳属和鼠李属2个类型;在草本植物花粉中,蒿属植物花粉的百分含量最高(50.9%),菊科其他属植物花粉的百分含量次之(23.9%),藜科、十字花科和伞形科植物花粉的百分含量均较低,均不超过2%。统计结果显示:供试的森林草原采样点表土中木本植物与草本植物花

粉数量的比值为0.3。

### 2.3 聚类分析

聚类分析结果(图1)表明:在欧氏距离为4处,供试15个采样点被分成5组,其中,1至3号采样点为I组,4至9号采样点为II组,10号采样点为III组,11至13号采样点为IV组,14和15号采样点为V组。并且,II组的6个采样点进一步分成2个小组,其中,4至6号采样点为一个小组,7至9号采样点为另一个小组;III和IV组的采样点也能够聚为一组。



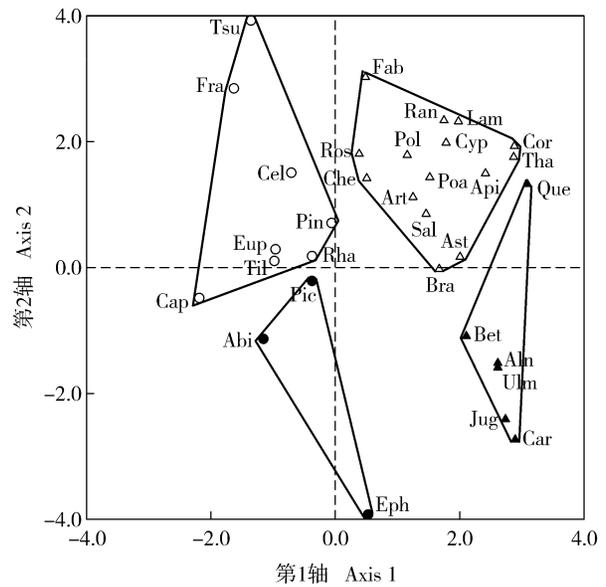
1-15: 采样点编号 Nos. of sampling sites.

图1 陇中南黄土残塬区15个采样点的聚类分析结果  
Fig. 1 Cluster analysis result of 15 sampling sites from Loess Broken Plateau Area in the Central South of Gansu Province

### 2.4 DCA 排序分析

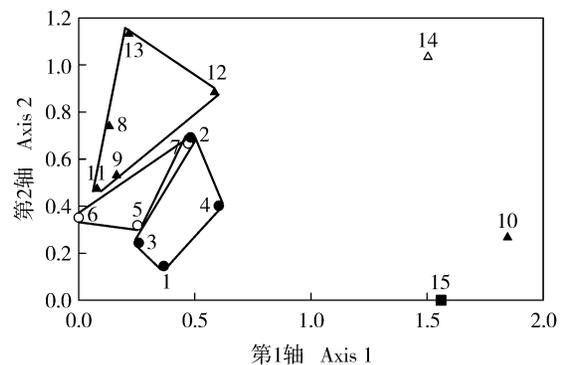
花粉类型的DCA排序分析结果(图2)表明:在第1轴正向区域分布有阔叶树、部分灌木植物和部分草本植物,在该轴负向区域以针叶树为主;在第2轴正向区域主要分布有灌丛和落叶阔叶林中的植物,如栲属、豆科、毛茛科、蒿属、榛属、蔷薇科和柳属等,在该轴负向区域分布有森林草原和针叶林中的植物,如麻黄属(*Ephedra* Linn.)、鹅耳枥属(*Carpinus* Linn.)、冷杉属、桦木属和云杉属等。

采样点的DCA排序分析结果(图3)表明:在第1轴的1.5~2.0区域主要分布有灌丛和森林草原采样点,并有个别的落叶阔叶林采样点(10号采样点),在该轴0.0~0.7区域分布有针叶林和针阔混交林采样点;供试15个采样点均分布在第2轴正向区域。



Tsu: 铁杉属 *Tsuga* Carr.; Fra: 栲属 *Fraxinus* Linn.; Fab: 豆科 Fabaceae; Ran: 毛茛科其他属 Other genera of Ranunculaceae; Lam: 唇形科 Lamiaceae; Cyp: 莎草科 Cyperaceae; Cor: 榛属 *Corylus* Linn.; Ros: 蔷薇科 Rosaceae; Pol: 蓼属 *Polygonum* Linn.; Tha: 唐松草属 *Thalictrum* Linn.; Api: 伞形科 Apiaceae; Cel: 朴属 *Celtis* Linn.; Che: 藜科 Chenopodiaceae; Poa: 禾本科 Poaceae; Que: 栎属 *Quercus* Linn.; Art: 蒿属 *Artemisia* Linn.; Sal: 柳属 *Salix* Linn.; Pin: 松属 *Pinus* Linn.; Eup: 大戟科 Euphorbiaceae; Rha: 鼠李属 *Rhamnus* Linn.; Ast: 菊科其他属 Other genera of Asteraceae; Til: 椴树属 *Tilia* Linn.; Bra: 十字花科 Brassicaceae; Pic: 云杉属 *Picea* A. Dietr.; Cap: 忍冬科 Caprifoliaceae; Abi: 冷杉属 *Abies* Mill.; Bet: 桦木属 *Betula* Linn.; Aln: 桤木属 *Alnus* Mill.; Ulm: 榆属 *Ulmus* Linn.; Jug: 胡桃属 *Juglans* Linn.; Car: 鹅耳枥属 *Carpinus* Linn.; Eph: 麻黄属 *Ephedra* Linn.

图2 陇中南黄土残塬区表土花粉类型的DCA排序分析  
Fig. 2 DCA ordination analysis on pollen types of surface soil from Loess Broken Plateau Area in the Central South of Gansu Province



1-15: 采样点编号 Nos. of sampling sites. ●: 针叶林 Coniferous forest; ○: 针阔混交林 Coniferous and broad-leaved mixed forest; ▲: 落叶阔叶林 Deciduous broad-leaved forest; △: 灌丛 Shrub; ■: 森林草原 Forest steppe.

图3 陇中南黄土残塬区15个采样点的DCA排序分析  
Fig. 3 DCA ordination analysis on 15 sampling sites from Loess Broken Plateau Area in the Central South of Gansu Province

### 3 讨论和结论

孢粉组合特征分析结果表明:陇中南黄土残塬区表土中的孢粉以木本植物花粉为主,且针叶树花粉的百分含量最高(均值为62.6%),草本植物花粉和蕨类植物孢子的百分含量也较高(均值分别为28.8%和21.4%);气孔器类型只有柏科、松属和云杉属3个类型。针叶林表土孢粉以针叶树花粉为主,草本植物花粉也较多,其松属、云杉属和冷杉属植物花粉能够与植物群落中的华山松、云杉、紫果云杉和岷江冷杉等建群种相对应,说明针叶林表土中的孢粉能够很好地反映母体植被的群落特征。针阔混交林表土孢粉也以针叶树花粉为主,草本植物花粉和蕨类植物孢子也较多,其松属和云杉属植物花粉占有绝对优势,并有桦木属和椴树属等阔叶树的花粉,与采样点附近主要生长华山松、云杉和白桦等阔叶树相对应,但阔叶树花粉较少,说明针阔混交林表土中的孢粉能够较好地反映母体植被的群落特征。落叶阔叶林表土孢粉中针叶树花粉占有明显优势,且草本植物花粉和蕨类植物孢子较多,其松属植物花粉具有明显优势,并有一定量的蒿属、云杉属和栎属植物花粉,很难与母体植物优势种为红桦和辽东栎以及伴生种为长尾槭、牛皮桦和鹅耳枥等的实际情况相对应,说明落叶阔叶林表土中的孢粉不能反映母体植被的群落特征。灌丛表土孢粉中木本植物花粉以及蕨类植物孢子均较少,但草本植物花粉很多,具有绝对优势,无法与母体植物优势种为沙棘、白刺花和虎榛子的实际情况相对应,但与母本植物菊科、豆科和唇形科草本种类较多相对应,说明灌丛表土中的孢粉基本能够反映母体植被的群落特征,但其建群种的花粉百分含量不能够准确反映其在群落中的地位。森林草原表土孢粉以草本植物花粉为主,木本植物花粉偏少,蕨类植物孢子最少,能够很好地反映母体植被的群落特征,其蒿属植物花粉过半,菊科其他属植物花粉也较多,并有一定量的鼠李属植物花粉,与母体植物优势种为华北米蒿且酸枣灌丛比例较高的实际情况相对应,说明森林草原表土中的孢粉能够很好地反映母体植被的群落特征。

聚类分析结果表明:1至3号采样点聚在一起,说明这3个针叶林采样点的孢粉组成相似,孢粉主要类型均为松属、云杉属和冷杉属;4号(针叶林)采样点与5和6号(针阔混交林)采样点聚在一起,可能

是由于这3个采样点距离较近,因此,受孢粉传播和扩散影响其表土的孢粉组成更为相似;7号(针阔混交林)采样点与8和9号(落叶阔叶林)采样点聚在一起,而落叶阔叶林其他采样点(10至13号采样点)聚在一起,说明落叶阔叶林表土的孢粉组成差异较大;14和15号采样点聚在一起,说明灌丛和森林草原表土的孢粉组成较为接近,均以蒿属和菊科其他属植物花粉为主。

本研究结果表明:松属植物花粉具有超代表性,与前人的研究结果<sup>[25-29]</sup>相同。本研究中,云杉属植物花粉也具有超代表性,与部分研究者<sup>[28,30-38]</sup>的结果相同或相似,与另一些研究者<sup>[5,39-40]</sup>的结果不同,说明不同地区森林表土中云杉属植物的花粉含量差异较大,这可能是因为云杉属植物花粉产量低<sup>[41]</sup>,气囊较松属植物花粉小,长距离传播能力有限<sup>[42]</sup>,散布比例小<sup>[43]</sup>;另外,还可能与采样点与林地的距离、海拔、气流和水流等<sup>[30-31,43]</sup>有关。本研究结果还表明:蒿属植物花粉具有超代表性,这可能是因为蒿属植物花粉产量高,属轻型花粉,风力传播能力强<sup>[44]</sup>。张文超等<sup>[45]</sup>认为蒿属植物花粉与母体植物的相关性较差,主要与人类活动有关;而伍婧等<sup>[46]</sup>认为蒿属植物花粉与母体植物的相关性较强,能够反映母体植物在当地的分布状况。关于陇中南黄土残塬区表土中蒿属植物花粉与母体植物的关系尚未清晰,需要后续的深入研究。

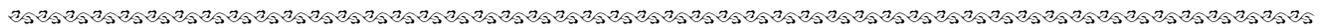
综上所述,陇中南黄土残塬区表土中的孢粉以木本植物花粉为主,尤其是松属和云杉属植物花粉,蒿属和水龙骨属植物花粉也较多。针叶林和森林草原表土中的孢粉能够很好地反映母体植被的群落特征,针阔混交林表土中的孢粉能够较好地反映母体植被的群落特征,灌丛表土中的孢粉基本能够反映母体植被的群落特征,落叶阔叶林表土中的孢粉不能反映母体植被的群落特征。林地与灌丛和森林草原表土的孢粉组成差异较大,且林地边缘区域表土的孢粉组成明显受到外界孢粉散播干扰。研究结果显示:在陇中南黄土残塬区,松属、云杉属和蒿属植物花粉具有超代表性;孢粉和气孔器数据相结合能够准确指示该区域母体植物的分布状况,利用植物孢粉的百分含量可较好地区分该区域的植被类型。

致谢:中国科学院南京地质古生物研究所唐领余先生对本文撰写提出了宝贵意见,在此表示感谢!

## 参考文献:

- [1] BOS J A A, DE SMEDT P, DEMIDDELE H, et al. Multiple oscillations during the Lateglacial as recorded in a multi-proxy, high-resolution record of the Moervaart palaeolake (NW Belgium) [J]. *Quaternary Science Reviews*, 2017, 162: 26-41.
- [2] PONCE J F, BORROMEI A M, MENOUNOS B, et al. Late-Holocene and Little Ice Age palaeoenvironmental change inferred from pollen analysis, Isla de los Estados, Argentina [J]. *Quaternary International*, 2017, 442: 26-34.
- [3] CALDERÓN-EZQUERRO M C, GUERRERO-GUERRA C, MARTÍNEZ-LÓPEZ B, et al. First airborne pollen calendar for Mexico City and its relationship with bioclimatic factors [J]. *Aerobiologia*, 2016, 32: 225-244.
- [4] GE Y, LI Y, BUNTING M J, et al. Relation between modern pollen rain, vegetation and climate in northern China: implications for quantitative vegetation reconstruction in a steppe environment [J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 586: 25-41.
- [5] 余少华, 郑卓, 黄康有, 等. 中俄黑龙江—阿穆尔跨境地区寒温带表土孢粉研究 [J]. *古生物学报*, 2012, 51(3): 370-384.
- [6] GAJEWSKI K. Modern and Holocene pollen assemblages from some small arctic lakes on Somerset Island, NWT, Canada [J]. *Quaternary Research*, 1995, 44: 228-236.
- [7] RITCHIE J C, HADDEN K A, GAJEWSKI K. Modern pollen spectra from lakes in arctic western Canada [J]. *Canadian Journal of Botany*, 1987, 65: 1605-1613.
- [8] PISARIC M F J, SZEICZ J M, KARST T, et al. Comparison of pollen and conifer stomates as indicators of alpine treeline in northwestern Canadian lake sediments [J]. *Canadian Journal of Botany*, 2000, 78: 1180-1186.
- [9] 万和文, 沈吉, 唐领余, 等. 中国西北地区松科和柏科气孔器形态 [J]. *微体古生物学报*, 2007, 24(3): 309-319.
- [10] HANSEN B C S. Conifer stomate analysis as a paleoecological tool: an example from the Hudson Bay Lowlands [J]. *Canadian Journal of Botany*, 1995, 73: 244-252.
- [11] FINSINGER W, TINNER W. Pollen and plant macrofossils at Lac de Fully (2135 m a. s. l.): Holocene forest dynamics on a highland plateau in the Valais, Switzerland [J]. *The Holocene*, 2007, 17: 1119-1127.
- [12] SHEN H D, LI C H, WAN H W, et al. Relationships between vegetation and stomata, and between vegetation and pollen surface soil in Yunnan, Southwest China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2013, 58: 1775-1786.
- [13] LI C, LI Y. Study of modern pollen and stomata from surficial lacustrine sediments from the eastern edge of Tibetan Plateau, China [J]. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 2015, 221: 184-191.
- [14] CHEN F, YU Z, YANG M, et al. Holocene moisture evolution in arid central Asia and its out-of-phase relationship with Asian monsoon history [J]. *Quaternary Science Reviews*, 2008, 27: 351-364.
- [15] 黄大燊. 甘肃植被 [M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1997.
- [16] 李俊生, 高吉喜, 张晓岚, 等. 贵清山自然保护区生物多样性现状和可持续发展对策 [J]. *环境科学研究*, 2006, 19(3): 41-45.
- [17] FAEGRI K, IVERSEN J. *Textbook of Pollen Analysis* [M]. Chichester: John Wiley and Sons, 1989: 1-328.
- [18] 王伏雄, 钱南芬, 张玉龙, 等. 中国植物花粉形态 [M]. 2版. 北京: 科学出版社, 1997: 1-461.
- [19] 唐领余, 毛礼米, 舒军武, 等. 中国第四纪孢粉图鉴 [M]. 北京: 科学出版社, 2017: 1-620.
- [20] 杨春蕾, 周忠泽, 周非, 等. 皖南山区肖坑林场秋季植物花粉形态特征分析 [J]. *植物资源与环境学报*, 2012, 21(2): 1-12.
- [21] 周非, 韩飞园, 杨春蕾, 等. 皖南山区杉山林场春季木本植物花粉形态特征分析 [J]. *植物资源与环境学报*, 2012, 21(4): 16-28.
- [22] SWEENEY C A. A key for the identification of stomata of the native conifers of Scandinavia [J]. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 2004, 128: 281-290.
- [23] GRIMM E C. TILIA and TILIA · GRAPH: PC spreadsheet and graphics software for pollen data [J]. *INQUA Working Group on Data-handling Methods Newsletter*, 1990, 4: 5-7.
- [24] TER B C J F, SMILAUER P. CANOCO reference manual and CanoDraw for Windows user's guide: software for canonical community ordination (version 4.5) [R]. Ithaca (N. Y.): Microcomputer Power, 2002: 1-500.
- [25] 吴玉书, 孙湘君. 昆明西山林下表土中花粉与植被间数量关系的初步研究 [J]. *植物学报*, 1987, 29(2): 204-211.
- [26] 刘会平, 谢玲娣. 神农架南坡常见花粉的 R 值研究 [J]. *华中师范大学学报(自然科学版)*, 1998, 32(4): 495-497.
- [27] 刘会平, 唐晓春, 王开发, 等. 神农架北坡表土常见花粉的 R 值研究 [J]. *地理科学*, 2001, 21(4): 378-380.
- [28] 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 [J]. *中国科学: 地球科学*, 2007, 37(2): 192-205.
- [29] 李文漪, 姚祖驹. 表土中松属花粉与植物间数量关系的研究 [J]. *植物学报*, 1990, 32(12): 943-950.
- [30] 阎顺, 孔昭宸, 杨振京, 等. 新疆表土中云杉花粉与植被的关系 [J]. *生态学报*, 2004, 24(9): 2017-2023.
- [31] 杨振京, 张芸, 毕志伟, 等. 新疆天山南坡表土花粉的初步研究 [J]. *干旱区地理*, 2011, 34(6): 880-889.
- [32] 王力, 张芸, 孔昭宸, 等. 新疆天山南坡吐鲁番地区表土花粉的初步研究 [J]. *植物生态学报*, 2017, 41(7): 779-786.
- [33] 阎顺, 贾宝全, 许英勤, 等. 乌鲁木齐河源区植被及表土花粉 [J]. *冰川冻土*, 1996, 18(S1): 264-273.
- [34] 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 [J]. *地理科学*, 2008, 28(6): 272-275.
- [35] LUO C X, ZHENG Z, TARASOV P, et al. Characteristics of the modern pollen distribution and their relationship to vegetation in the

- Xinjiang region, northwestern China[J]. Review of Palaeobotany and Palynology, 2009, 153: 282-295.
- [36] 邱筱兰. 青藏高原东北缘表土花粉初步分析[J]. 微体古生物学报, 2016, 33(1): 65-74.
- [37] 蔡遥, 王燕, 蒋复初, 等. 川北若尔盖高原表土孢粉的特征及其与现代植被的关系[J]. 地质通报, 2010, 29(5): 707-712.
- [38] 赵克良, 李小强. 新疆伊犁盆地表土花粉与植被关系[J]. 科学通报, 2013, 58(30): 3070-3078.
- [39] 李永飞, 李春海, 介冬梅, 等. 长白山北坡表土花粉组合及数量分析[J]. 微体古生物学报, 2016, 33(3): 293-303.
- [40] 魏海成, 郑卓, 马海州, 等. 青海表土花粉分布规律及其与植被的关系[J]. 干旱区地理, 2009, 32(6): 932-940.
- [41] 许清海, 王子惠, 夏玉梅. 长白山岳桦林表土花粉分析[J]. 河北省科学院学报, 1992(2): 28-36.
- [42] 桑艳礼, 马玉贞, 高尚玉, 等. 甘肃兴隆山自然保护区表土花粉组合及数量分析[J]. 古生物学报, 2008, 47(4): 457-467.
- [43] 吕厚远, 王淑云, 沈才明, 等. 青藏高原现代表土中冷杉和云杉花粉的空间分布[J]. 第四纪研究, 2004, 24(1): 39-49.
- [44] 许清海, 曹现勇, TIAN F, 等. 中国北方典型草原区花粉产量及其定量重建古植被的作用[J]. 中国科学: 地球科学, 2013, 43(12): 2016-2028.
- [45] 张文超, 李春海, 鹿化煜, 等. 南洛河流域洛南盆地表土花粉与植被的关系[J]. 地理学报, 2013, 68(3): 398-413.
- [46] 伍婧, 马玉贞, 桑艳礼, 等. 宁夏大罗山表土样品中主要花粉类型的代表性[J]. 古生物学报, 2013, 52(1): 57-67.
- (责任编辑: 佟金凤)



## 欢迎订阅 2020 年《生态与农村环境学报》

《生态与农村环境学报》系国家生态环境部主管、生态环境部南京环境科学研究所主办的全国性学术期刊,为《中文核心期刊要目总览》入编期刊、中国科学引文数据库(CSCD)核心期刊、中国学术期刊评价研究报告(RCCSE)核心期刊、中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊),被中国科技论文与引文数据库(CSTPCD)、中文社会科学引文索引(CSSCI)、中国学术期刊综合评价数据库(CAJCED)、中国期刊全文数据库(CJFD)、中国核心期刊(遴选)数据库、CA、CABI、BA、BP、BD、UPD、GeoBase、ZR、EM、Scopus、AGRIS、中国农业文摘、中国生物学文摘、中国学术期刊文摘、地球与环境科学信息网(EES)等国内外重要刊库和网站收录。系全国优秀环境科技期刊、江苏省优秀期刊及中国期刊协会赠建全国百家期刊阅览室指定赠送期刊。

本刊宗旨:及时报道生态与农村环境保护领域创新性研究成果等。主要栏目:研究报告、研究简报、研究方法、专论与综述、学术讨论与建议等。主要内容:1)区域环境与发展,包括生态环境变化与全球环境影响、区域生态环境风险评价、环境规划与管理及区域生态经济与生态安全等;2)自然保护与

生态,包括自然资源保护与利用、生物多样性与外来物种入侵、转基因生物环境安全与监控、生态保护、生态工程与生态修复、有机农业与农业生态及气候变化与生态响应等;3)污染控制与修复,包括污染控制原理与技术、土壤污染与修复、水环境污染与修复、大气污染防控、农业废物综合利用与资源化、农用化学品风险评价与监控及化学品环境与健康等。主要读者对象:从事生态学、环境科学、农学、林学、地学、资源科学等研究、教学、生产的科技人员,相关专业的高等院校师生以及各级决策与管理人员。

本刊为月刊,每月25日出版,A4开本,每期136页,每期定价30.00元,全年定价360.00元,国内外公开发行,全国各地邮局均可订阅,国内邮发代号28-114;国外由中国国际图书贸易总公司(北京399信箱)负责发行,国外发行代号Q5688。如漏订,可向本刊编辑部补订。编辑部地址:江苏省南京市蒋王庙街8号(邮编:210042);电话:025-85287092, 85287601, 85287036, 85287052, 85287053;网址: <http://www.ere.ac.cn>; E-mail: [ere@vip.163.com](mailto:ere@vip.163.com), [bjb@nies.org](mailto:bjb@nies.org)。

欢迎订阅! 欢迎投稿!