ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

第 32 卷 第 24 期 Vol.32 No.24 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版

中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 24 期

2012 年 12 月 (半月刊)

目 次

从文献计量角度分析中国生物多样性研究现状.....	刘爱原,郭玉清,李世颖,等 (7635)
CO ₂ 浓度升高和模拟氮沉降对青川箭竹叶营养质量的影响.....	周先容,汪建华,张 红,等 (7644)
陕西中部黄土高原地区空气花粉组成及其与气候因子的关系——以洛川县下黑木沟村为例.....	吕素青,李月从,许清海,等 (7654)
长三角地区 1995—2007 年生态资产时空变化.....	徐昔保,陈 爽,杨桂山 (7667)
基于智能体模型的青岛市林地生态格局评价与优化.....	傅 强,毛 锋,王天青,等 (7676)
青藏高原高寒草地生态系统服务功能的互作机制.....	刘兴元,龙瑞军,尚占环 (7688)
北京城市绿地的蒸腾降温功能及其经济价值评估.....	张 彪,高吉喜,谢高地,等 (7698)
武汉市造纸行业资源代谢分析.....	施晓清,李笑诺,赵吝加,等 (7706)
丽江市家庭能耗碳排放特征及影响因素.....	王丹寅,唐明方,任 引,等 (7716)
基于分布式水文模型和福利成本法的生态补偿空间选择研究.....	宋晓谕,刘玉卿,邓晓红,等 (7722)
设施塑料大棚风洞试验及风压分布规律.....	杨再强,张 波,薛晓萍,等 (7730)
湖南珍稀濒危植物——珙桐种群数量动态.....	刘海洋,金晓玲,沈守云,等 (7738)
云南岩陀及其近缘种质资源群体表型多样性.....	李萍萍,孟衡玲,陈军文,等 (7747)
沙埋和种子大小对柠条锦鸡儿种子萌发、出苗和幼苗生长的影响.....	杨慧玲,梁振雷,朱选伟,等 (7757)
栗山天牛天敌花绒寄甲在栎林中的种群保持机制.....	杨忠岐,唐艳龙,姜 静,等 (7764)
基于相邻木排列关系的混交度研究.....	娄明华,汤孟平,仇建习,等 (7774)
三种回归分析方法在 Hyperion 影像 LAI 反演中的比较.....	孙 华,鞠洪波,张怀清,等 (7781)
红松和蒙古栎种子萌发及幼苗生长对升温与降水综合作用的响应.....	赵 娟,宋 媛,孙 涛,等 (7791)
新疆杨边材贮存水分对单株液流通量的影响.....	党宏忠,李 卫,张友焱,等 (7801)
火干扰对小兴安岭毛赤杨沼泽温室气体排放动态影响及其影响因素.....	顾 韩,牟长城,张博文 (7808)
不同潮汐和盐度下红树植物幼苗秋茄的化学计量特征.....	刘滨尔,廖宝文,方展强 (7818)
腾格里沙漠东南缘沙质草地灌丛化对地表径流及氮流失的影响.....	李小军,高永平 (7828)
西双版纳人工雨林群落结构及其林下降雨侵蚀力特征.....	邓 云,唐炎林,曹 敏,等 (7836)
西南高山地区净生态系统生产力时空动态.....	庞 瑞,顾峰雪,张远东,等 (7844)
南北样带温带区栎属树种种子化学组成与气候因子的关系.....	李东胜,史作民,刘世荣,等 (7857)
模拟酸雨对龙眼叶片 PS II 反应中心和自由基代谢的影响.....	李永裕,潘腾飞,余 东,等 (7866)
沈阳市城郊表层土壤有机污染评价.....	崔 健,都基众,马宏伟,等 (7874)
降雨对旱作春玉米农田土壤呼吸动态的影响.....	高 翔,郝卫平,顾峰雪,等 (7883)
冬季作物种植对双季稻根系酶活性及形态指标的影响.....	于天一,逢焕成,任天志,等 (7894)
施氮量对小麦/玉米带田土壤水分及硝态氮的影响.....	杨蕊菊,柴守玺,马忠明 (7905)
微山湖鸟类多样性特征及其影响因素.....	吕昭智,潘卫林,张 鑫,等 (7925)
新疆北部棉区作物景观多样性对棉铃虫种群的影响.....	刘静静,董春颖,宋英琦,等 (7932)
杭州西湖北里湖沉积物氮磷内源静态释放的季节变化及通量估算.....	郭 静,陈求稳,张晓晴,等 (7940)
基于实码遗传算法的湖泊水质模型参数优化.....	王跃中,孙典荣,陈作志,等 (7948)
气候环境因子和捕捞压力对南海北部带鱼渔获量变动的影响.....	颜婷茹,焦海峰,毛玉泽,等 (7958)
象山港南沙岛不同养殖类型沉积物酸可挥发性硫化物的时空分布.....	
专论与综述	
提高植物抗寒性的机理研究进展.....	徐呈祥 (7966)
植被对多年冻土的影响研究进展.....	常晓丽,金会军,王永平,等 (7981)
凋落物分解主场效应及其土壤生物驱动.....	查同刚,张志强,孙 阁,等 (7991)
街尘与城市降雨径流污染的关系综述.....	赵洪涛,李叙勇,尹澄清 (8001)

封面图说: 永兴岛海滩植被——永兴岛是中国西沙群岛的主岛,也是西沙群岛及南海诸岛中最大的岛屿。国务院 2012 年 6 月批准设立的地级三沙市,管辖西沙群岛、中沙群岛、南沙群岛的岛礁及其海域,三沙市人民政府就驻西沙永兴岛。永兴岛岛上自然植被密布,野生植物有 148 种,占西沙野生植物总数的 89%,主要树种有草海桐(羊角树)、麻枫桐、野枇杷、海棠树和椰树等。其中草海桐也称为羊角树,是多年生常绿亚灌木植物,它们总是喜欢倚在珊瑚礁岸或是与其他滨海植物聚生于海岸沙滩,为典型的滨海植物。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201206040810

吕素青, 李月从, 许清海, 李英, 刘耀亮, 梁剑. 陕西中部黄土高原地区空气花粉组成及其与气候因子的关系——以洛川县下黑木沟村为例. 生态学报, 2012, 32(24): 7654-7666.

Li S Q, Li Y C, Xu Q H, Li Y, Liu Y L, Liang J. Airborne pollen assemblages and their relationships with climate factors in the central Shaanxi Province of the Loess Plateau: a case in Xiaheimugou, Luochuan County. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(24): 7654-7666.

陕西中部黄土高原地区空气花粉组成及其 与气候因子的关系 ——以洛川县下黑木沟村为例

吕素青, 李月从*, 许清海, 李 英, 刘耀亮, 梁 剑

(河北师范大学资源与环境科学学院, 河北省环境演变与生态建设重点实验室, 050024 石家庄)

摘要: 空气花粉研究是现代孢粉学、植被变迁与预测的重要内容之一。陕西省黄土高原地区洛川县 2007—2009 连续 2a 的空气花粉分析表明: 空气花粉组成与区域植被分布特征和植物花期一致。与 2007—2008 年相比, 2008—2009 年的花粉总通量及蒿属花粉通量明显增加, 但木本植物花粉通量降低, 这主要与 2008—2009 年降水明显偏少密切相关。2007—2008 年降雨量高于 500 mm, 花粉组合中乔木花粉百分比高于 30%, 表现出森林植被特点; 2008—2009 年降雨量少于 450 mm, 花粉组合中草本花粉高于 80%, 乔木花粉低于 10%, 更多表现出草原植被特点。但从植被观测来看并没有明显的变化, 表明花粉组合较植被对气候变化更为敏感。主要花粉类型与气候因子的相关分析表明: 气候因子影响空气花粉的组成及数量。栎属、松属、蔷薇科花粉数量主要受春季温度影响, 温度越高花粉数量越多; 其他季节花粉数量主要受相对湿度影响, 湿度越低, 花粉数量越大。榆属花粉数量主要与冬季温度有关, 温度越高, 花粉数量越高。杨属只受春季温度影响, 春季温度越低, 花粉数量越多。胡颓子科花粉含量主要受春季相对湿度、风速影响, 相对湿度越低, 风速越大, 花粉数量越多。绝大多数草本花粉数量均主要受春、冬季相对湿度及风速影响, 相对湿度越低, 风速越大, 花粉数量越高; 此外, 禾本科花粉数量还受春季温度影响, 温度越高, 花粉数量越多; 菊科花粉数量在夏秋季节还受温度、湿度和风速的共同影响, 温度越低, 湿度越低, 风速越大, 花粉数量越多。这些结果表明, 黄土高原中部地区的空气花粉特征能反映区域植被组成, 且对气候变化非常敏感, 对认识和预测当地气候变化与植被动态等具有重要意义。

关键词: 洛川; 空气花粉组合; 花粉通量; 气候变化; 相关分析

Airborne pollen assemblages and their relationships with climate factors in the central Shaanxi Province of the Loess Plateau: a case in Xiaheimugou, Luochuan County

LÜ Suqing, LI Yuecong*, XU Qinghai, LI Ying, LIU Yaoliang, LIANG Jian

College of Resources and Environmental Science, Hebei Normal University, Key Laboratory of Environmental Change and Ecological Development of Hebei Province, Shijiazhuang 050024, China

Abstract: The research of airborne pollen is one of important contents of modern palynology, vegetation changes and prediction. The airborne pollen analysis results in the Luochuan County Shaanxi Province from 2007 to 2009 shows that airborne pollen assemblages are mainly consistent with the distribution characteristics of regional vegetation and their parent

基金项目: 国家自然科学基金项目(40672107); 中国北方草原区主要植物类型花粉相对产量和花粉源范围(41071132); 山西北部全新世植被演替和气候变化定量重建(41171166)

收稿日期: 2012-06-04; 修订日期: 2012-10-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lyczh@yahoo.cn

plant florescence. The total fluxes and *Artemisia* fluxes were obviously increased, and woody plant pollen fluxes are significantly reduced in 2008—2009 than in 2007—2008. That should be closely related with the precipitation decreasing. In 2007—2008, the annual rainfall precipitation is higher than 500 mm; correspondingly, the tree pollen percentage is higher than 30%, showing the characteristics of forest vegetation. In 2008—2009, the annual rainfall is less than 450 mm, herbaceous pollen percentages are more than 80% and the tree pollen percentage is less than 10%, more indicating the characteristics of steppe vegetation, however, no obviously vegetation changes can be directly observed, suggesting that pollen assemblages can be more sensitively to the change of climate than the vegetation. The correlation analysis between major pollen taxa fluxes and climate factors shows that climatic factors can influence the pollen assemblages and fluxes. *Pinus*, *Quercus*, Rosaceae pollen fluxes are mainly related with the temperature in spring, and pollen fluxes increase with the increase of temperature; In the other seasons, these three pollen fluxes are mainly influenced by the relative humidity, and the pollen fluxes reduce with the increase of humidity. *Ulmus* pollen fluxes are mainly influenced by the temperature in winter, and the higher the temperature is, the larger of the fluxes are. *Populus* fluxes are only controlled by the spring temperature, with the increase of spring temperature, the pollen fluxes are decreased. Elaeagnaceae fluxes are mainly affected by the relative humidity and wind speed in spring, and when the relative humidity is lower and the wind speed is higher, the pollen fluxes become higher. Most of the herbaceous pollen fluxes are mainly affected by the relative humidity and wind speed in spring and winter, the lower relative humidity and the higher wind speed are benefit to the increase of herbaceous pollen fluxes. In addition, Poaceae pollen fluxes are also affected by the spring temperature, and the pollen fluxes rise with the increase of temperature. Compositae fluxes are also affected by temperature, humidity and wind speed in summer and autumn, when the lower temperature and humidity, and higher wind speed are benefit to the increase of pollen fluxes. All of the results indicate that the airborne pollen assemblages in the central region of loess plateau, can reflect the regional vegetation composition, and are very sensitive to the climate changes, and suggesting airborne pollen assemblages have very important role in understanding and predicting the local climate change, vegetation dynamic and so on.

Key Words: Luochuan; airborne pollen assemblage; pollen fluxes; climate change; correlation analysis

空气孢粉分析不仅是花粉过敏症研究不可缺少的部分,也是花粉现代过程研究的重要内容之一,可以用来研究花粉产量、花粉源范围和花粉散布特征、花粉与植被和气候的关系等^[1-6],用于建立更为准确可靠的花粉-植被-气候模型^[7],从而更准确的定量恢复和重建古植被和古气候。

黄土高原主要为第四纪风成堆积物,黄土层覆盖深厚、分布连续广泛,环境变化较大^[8],对研究第四纪植被、气候变化具有重要意义。花粉分析是研究黄土高原古植被与古气候的重要手段之一,但目前对黄土高原区花粉分析多限于地层化石花粉研究,花粉现代过程研究较为缺乏。陕西省中部地区的洛川县为黄土高原中心地带的典型地区,前人已在该区开展了多种替代指标的深入研究,如年代学、古生物学、地球化学、土壤学、磁学等^[9-17]。尽管化石花粉也有研究^[18-19],但现代花粉过程研究却鲜见报道。本文拟通过对洛川县下黑木沟村连续两年不同月份空气花粉组合特征的研究,结合气候资料分析,揭示该地空气花粉特征及其对不同季节气候因子反映程度,从而为黄土高原生态建设及利用花粉数据恢复黄土高原古植被和古气候提供基础数据。

1 研究区概况

采样点位于陕西省中部延安市南部的洛川县下黑木沟村(35°43'36"N, 109°26'01"E)(图1),海拔1106 m,属黄土高原的核心区,年平均气温约10℃,年降水量550—650 mm,年平均风速1.6 m/s左右,雨热同季,为暖温带半湿润大陆性季风气候。本区地貌类型为典型的黄土塬(称洛川塬),地表平坦,塬边崎岖,黄土覆盖厚,土壤以黑垆土最为常见,植被区划属夏绿阔叶林区黄土塬农耕植被小区^[20]。本区的沟谷等处有人工林分布,主要有油松(*Pinus tabulaeformis*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)、栎属(*Quercus* spp.)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、泡桐(*Paulownia*)、山杨(*Populus davidiana*)、李属(*Prunus* spp.)、臭椿(*Ailanthus altissima*)、桃

树(*Prunus persica*)、榆属(*Ulmus* spp.)、柳属(*Salix* spp.)、杜梨(*Pyrus betulaefolia*)等。在田埂、沟边分布有灌丛及草本植物群落,建群种为黄土高原常见的耐旱种类,如狼牙刺(*Sophora viciifolia*)、酸枣(*Ziziphus jujuba* var. *spinosa*)、胡颓子(*Elaeagnus pungens*)、黄刺玫(*Rosa xanthina*)、荆条(*Vitex negundo* var. *heterophylla*)等灌木及白羊草(*Bothriochloa ischaemum*)、长芒草(*Stipa bungeana*)、胡枝子(*Lespedeza bicolor*)及蒿属(*Artemisia* spp.)等草本植物。

采样点周边地区有人工种植的小麦(*Triticum aestivum*)、高粱(*Sorghum bicolor*)、玉米(*Zea mays*)、谷子(*Setaria italica*)、大豆(*Glycine max*)等草本作物,以及枣(*Ziziphus jujuba*)、梨属(*Pyrus* spp.)、苹果属(*Malus* spp.)、核桃(*Juglans regia*)、花椒(*Zanthoxylum bungeanum*)、柿树(*Diospyros kaki*)等木本作物^[20-21]。采样点附近主要有柳树、苹果树、核桃树、臭椿、油松等。

图1 采样点位置图

Fig. 1 The location of sampling site

2 研究方法

2.1 野外样品采集

空气花粉采用风标式花粉收集器^[22]收集。为了便于更换和防止丢失,风标仪置于一村落边缘的农舍屋顶(距地面约5 m),2个纱网片并排竖立在风标前端,利用风标随风转动,使得纱网始终迎向风,收集各个方向的空气花粉。每个纱网(20 cm × 20 cm)片由6层浸有硅油的细纱布叠置组成,以便空气中花粉等颗粒粘附。2个纱网片其中一个每半个月收放采集花粉1次,自2007年3月14日到2009年3月14日,共收集48个样品;另一个放置1a后再更换,收集了2个样品(2007年3月—2008年3月和2008年3月—2009年3月)。

2.2 实验室处理

孢粉分析实验室取样1/2纱网(20 cm × 10 cm),约重15 g。先加入1片27637粒/片±563粒/片石松孢子示踪剂;然后加入适量浓H₂SO₄溶液,炭化3h,水洗至中性;再加入浓度为10%的NaOH溶液去除有机质,水洗至中性;经过筛网过滤后,加入1:9的硫酸乙酸酐去除花粉的原生质,水洗至中性;最后加入甘油备用。花粉鉴定统计在400倍日本Olympus光学生物显微镜下进行,参考了大量花粉形态的研究文献和图版^[23-27]及河北师范大学资源与环境科学学院孢粉分析室的现代花粉标本,每个样品鉴定统计花粉300粒以上。

2.3 孢粉通量计算方法

孢粉通量的计算公式为
$$\Phi = (N_x \times I_s) / (N_s \times S \times t / 15)$$

式中, Φ 为孢粉通量(粒·cm⁻²·15d⁻¹); N 为鉴定出的孢粉数量, N_x 代表鉴定出的某一类型的孢粉数量, N_s 代

表鉴定出的石松孢子数量; I_s 代表加入的石松孢子数量; S 为纱网面积的 $1/2$; t 代表样品收集的天数。该次研究为便于与气候对应,花粉通量以 15d 计算。

2.4 图表绘制和数据分析方法

利用 TILIA 软件绘制空气孢粉百分比和通量图,在 TGVIEW 和 CorelDRAW 软件中修改润饰图片。利用 SPSS 软件对孢粉百分比、通量数据和气候因子进行 Pearson 相关性分析。

3 研究结果

3.1 洛川地区空气花粉组合基本特征

洛川 2007—2009 年的 48 个样品中共鉴定出 99 科/属植物的孢粉类型,其中 24 个乔木花粉类型,百分含量平均为 17.4%,以栎属(*Quercus*) (平均 5.1%,最高 46.3%)、松属(*Pinus*) (平均 2.8%,最高 23.8%)、榆属(*Ulmus*) (平均 2.6%,最高 33.4%)、杨属(*Populus*) (平均 2.3%,最高 76.3%)、柏科(*Cupressaceae*) (平均 1.1%,最高 25.1%)等为主;25 个灌木花粉类型,百分比平均为 9.2%,以蔷薇科(*Rosaceae*) (平均 4.8%,最高 28%)、胡颓子科(*Elaeagnaceae*) (平均 1.7%,最高 41.4%)、虎榛子属(*Ostryopsis*) (平均 1.4%,最高 15%)等为主;46 个草本花粉类型,百分比平均 72.9%,以蒿属(*Artemisia*) (平均 48.3%,最高 95.9%)、藜科(*Chenopodiaceae*) (平均 9.8%,最高 26%)、禾本科(*Poaceae*) (平均 4.4%,最高 26.8%)、菊科(*Compositae*) (平均 1.9%,最高 14.8%)、农作物禾本科(*Cereals*) (平均 1.7%,最高 18.2%)、葡萄科(*Vitaceae*) (平均 1.4%,最高 58.7%)、豆科(*Leguminosae*) (平均 1.1%,最高 18.2%)、荨麻属+葎草属(*Urtica+Humulus*) (平均 1%,最高 17.2%)等为主;蕨类孢子类型共 4 个,百分比含量均较低,平均仅 0.4% (图 2)。

3.2 不同年份花粉组合、花粉通量对比

3.2.1 不同年份百分比对比

两年中大多数花粉类型百分比高值出现时间较一致(表 1)。但不同类型花粉在 2 年中的百分比平均值和最高值存在差别。如与 2007—2008 年相比,2008—2009 年栎属、胡颓子科花粉百分比最高值明显降低,但松属、榆属、禾本科花粉百分比则明显升高。蒿属、藜科、蔷薇科、虎榛子属百分比最高值在两年差别不大(图 2)。

表 1 2007—2008 年及 2008—2009 年主要花粉类型百分比和通量峰值及出现时间

Table 1 The peak values of major pollen taxa percentage and fluxes and the time of occurrence in the Luochuan County

花粉类型 Pollen taxa	主要分布时间 Period	百分比最高值 Percentage maximum/%		通量最高值 Fluxes maximum/(粒·cm ⁻² ·15d ⁻¹)	
		2007-03-14— 2008-03-14	2008-03-14— 2009-03-14	2007-03-14— 2008-03-14	2008-03-14— 2009-03-14
栎属 <i>Quercus</i>	4—6 月	46.3(04-14—29)	38.9(04-14—29)	1231(04-29—5.14)	855(04-14—29)
松属 <i>Pinus</i>	4—6 月	14.8(04-29—5.14)	23.8(04-29—5.14)	620(04-29—5.14)	504(04-29—05-14)
榆属 <i>Ulmus</i>	3—4 月初	25.8(03-14—29)	33.4(03-14—29)	234(03-29—4.14)	303(03-14—29)
蔷薇科 <i>Rosaceae</i>	3 月底—6 月	28(04-29—5.14)	26.1(04-14—29)	1174(04-29—5.14)	573(04-14—29)
胡颓子科 <i>Elaeagnaceae</i>	3 月底—5 月	41.4(03-29—4.14)	12.9(03-29—14)	546(03-29—4.14)	46(03-29—04-14)
虎榛子属 <i>Ostryopsis</i>	3 月底—6 月初	11.2(03-29—4.14)	15(03-29—4.14)	204(04-29—5.14)	146(04-14—29)
蒿属 <i>Artemisia</i>	6 月中旬—翌年 3 月	95.5(08-29—9.14)	95.9(08-29—9.14)	4400(08-29—9.14)	17554(08-29—09-14)
藜科 <i>Chenopodiaceae</i>	全年较多	26(07-29—8.14)	22.7(07-14—29)	461(04-29—5.14)	369(07-29—08-14)
禾本科 <i>Poaceae</i>	5—6 月初,8—9 月	14.1(06-14—29)	26.8(05-14—29)	415(08-14—29)	205(08-29—09-14)

3.2.2 不同年份花粉通量对比

从主要花粉类型全年的半月通量累加来看(图 3),除榆属、蒿属外,其他主要花粉类型通量均表现为 2007—2008 年度高于 2008—2009 年度,榆属两年基本持平,蒿属 2008—2009 年花粉通量是 2007—2008 年度的两倍多。另外,两年中主要花粉类型通量的最高值及其出现时间(表 1)也存在一定差别,栎属、榆属、蔷薇科、虎榛子属峰值出现时间 2008—2009 年度均较前一年提前半月,禾本科花粉峰值出现时间推迟半月。

两年花粉通量对比结果还均显示(图4,图5),春季和夏末秋初花粉通量较高,其他季节较低。其中2007—2008年年总花粉通量为 $22647 \text{ 粒} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,该年有两个高峰值,第一个高峰期在4月29日—5月14日,总通量 $4190 \text{ 粒} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot 15\text{d}^{-1}$,以栎属和蔷薇科花粉通量最高,松属、藜科和蒿属花粉次之;第二个高峰期在8月29日—9月14日,总通量 $4607 \text{ 粒} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot 15\text{d}^{-1}$,以蒿属为主。2008—2009年度与2007—2008年度相比,年总花粉通量高达 $34543 \text{ 粒} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,且只在8月29日—9月14日有一个高峰期,为 $18299 \text{ 粒} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot 15\text{d}^{-1}$,主要为蒿属花粉,藜科、禾本科花粉次之;4—5月峰期不明显,但花粉通量也较高,达 $2196 \text{ 粒} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot 15\text{d}^{-1}$ (4月14—29日)和 $2123 \text{ 粒} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot 15\text{d}^{-1}$ (4月29—5月14日)。

3.2.3 全年收集的样品对比

2个全年放置收集花粉的样品中,主要花粉类型通量(图6)与半月累加的结果(图3)有所差别:栎属、松属、胡颓子科、虎榛子属及蒿属与叠加结果变化趋势一致,均为前4种2007—2008年度高,而蒿属2008—2009年度明显升高;另外蔷薇科、禾本科和藜科却与叠加结果相反,2008—2009年度高。

3.3 不同季节花粉组合和通量对比

从图2、图5中可看出,两年中乔木植物花粉在春季均数量最多,平均占孢粉总数的46.5%,最高达99.6%,最低约10%,其他月份多不大于5%。两年春季平均花粉通量分别为 $781 \text{ 粒} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot 15\text{d}^{-1}$ 和 $645 \text{ 粒} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot 15\text{d}^{-1}$,峰值出现在4月14日—5月14日,达 $1100 \text{ 粒} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot 15\text{d}^{-1}$ 以上,最高达 $1935 \text{ 粒} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot 15\text{d}^{-1}$,其他季节多低于 $20 \text{ 粒} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot 15\text{d}^{-1}$ 。

灌木植物花粉也是在春季数量较多,尤其是4—5月最多,百分比最高达19.5%—58.8%;两年春季平均花粉通量分别为 $673 \text{ 粒} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot 15\text{d}^{-1}$ 和 $341 \text{ 粒} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot 15\text{d}^{-1}$,峰值出现时间与乔木相同,出现在4月14日—5月14日,均达 $600 \text{ 粒} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot 15\text{d}^{-1}$ 以上,最高达 $1510 \text{ 粒} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot 15\text{d}^{-1}$,其他季节多低于 $40 \text{ 粒} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot 15\text{d}^{-1}$ 。

草本植物花粉在夏秋冬三个季节数量远远超过木本植物花粉,在花粉组合中百分比多高于90%,最低也达59%,平均约91%。其中夏末秋初(8—9月)草本花粉通量最高,多在 $800 \text{ 粒} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot 15\text{d}^{-1}$ 以上,最高达 $18266 \text{ 粒} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot 15\text{d}^{-1}$;其次为11—12月份,花粉通量多在 $500 \text{ 粒} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot 15\text{d}^{-1}$ 以上,但最高不超过 $1400 \text{ 粒} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot 15\text{d}^{-1}$ 。其余月份多低于 $300 \text{ 粒} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot 15\text{d}^{-1}$ 。

4 讨论

4.1 空气花粉组合与植被类型的关系

研究区域空气花粉以栎属、松属、榆属、杨属、蔷薇科、胡颓子科、虎榛子属、蒿属、藜科、禾本科等为主,这些主要类型的植物在区域植被中均有分布,但不一定出现在样点周围。采样点放置处周围的植被主要为柳树、核桃树、臭椿、松属、柿树、蒿属、藜科、禾本科,但花粉组合中除松属、蒿属、藜科、禾本科花粉较多外,柳、臭椿、柿树花粉较少见到。榆属、栎属、虎榛子、胡颓子等植物在采样点周围少见分布,但据对样点周围植被的观

图3 洛川主要花粉类型年总花粉通量对比

Fig. 3 The total fluxes of the main pollen taxa in different years in the Luochuan County

图4 洛川2007—2009年不同月份空气花粉总通量

Fig. 4 Airborne pollen fluxes in different months in the Luochuan County from 2007 to 2009

图5 洛川2007—2009年不同月份空气花粉通量图
Fig.5 Airborne pollen fluxes in different months in the Luochuan County from 2007 to 2008

图 6 洛川全年收集的样品中主要花粉类型百分比和通量对比

Fig. 6 The main pollen taxa percentages and fluxes of full-year samples in the Luochuan County

测,距采样点 40 km 以外山地有较多分布,表明通过空气花粉组合能较好地反映区域植被,而不只是局域植被。但花粉收集器到底能够反映多大范围内植被组成是我们下一步准备做的工作。另外洛川不同空气花粉类型的百分比和通量的高值可以较好反映当地不同植物的花期。如空气花粉组合中木本植物花粉在 3—6 月较多,与木本植物的花期多在春季相对应;8—9 月是草本植物的花期,因此草本植物花粉通量在此阶段为全年最高值。

4.2 空气花粉的年际差异

据文献中国北方地区花粉通量多呈双峰型^[28-32],一般分布在春季和夏末秋初,分别对应木本植物和草本植物的花期。本次研究中 2007—2008 年度的花粉通量与前人研究一致。而 2008—2009 年只在 9 月初出现一个明显的高峰,且以蒿属花粉为主,春季花粉通量高峰不明显,这可能与两年的气候差异有关(表 2)。两年气候相比,2008—2009 年度春季气温低、降水量和相对湿度高,不利于植物开花和花粉扩散,这可能是造成 2008 年该季节乔木及总花粉通量减少的原因;秋季气温高、降水量和相对湿度明显低,有利于蒿属、藜科等耐旱植物的生长及花粉的产生、传播,从而使 2008 年草本植物花粉通量明显增多。就全年气候状况来说(表 2),2008—2009 比上一年的年平均气温高,降水量和相对湿度低,一定程度上有利于耐旱草本植物的生长,这可能是造成两地 2008—2009 年只在秋季出现一个花粉通量高峰的原因。这一现象说明花粉组合可能比直接观测到的植被变化更能灵敏地反映气候的波动。

表 2 2007—2009 年度洛川主要气象要素数据

Table 2 The values of main meteorological elements in the Luochuan County from 2007 to 2009

时段 Time	年份 Year	平均气温/℃ Average temperature	降水量/mm Precipitation	相对湿度 Relative humidity	平均风速/(m/s) Average wind speed
全年 Full year	2007—2008	10.6	513	59.2%	1.6
	2008—2009	11.1	435.9	54.7%	1.6
春季 Spring	2007	14.9	45.7	38.9%	1.9
	2008	14.4	62.6	47.4%	1.8
夏季 Summer	2007	22.9	232.5	62.6%	1.6
	2008	22.3	239.1	62.6%	1.5
秋季 Autumn	2007	10.3	213.7	67.6%	1.5
	2008	11.0	113.6	64.4%	1.6
冬季 Winter	2007—2008	-4.2	19.6	66.1%	1.6
	2008—2009	-1.4	8.7	43.4%	1.7

为与空气花粉组合对应分析,该气象数据的计算与样品采集时间相对应

两个全年收集的花粉样品分析结果表明,2007—2008 年度乔木花粉达 49%,但 2008—2009 年度样品乔木花粉含量下降为 9%,草本花粉达 85%,蒿属高达 70% 以上。许清海等^[33]认为在花粉组合中如果乔木花粉在花粉组合中含量高于 30%,可认定采样点周围为森林或森林草原植被。草本植物花粉一般高于 90%,且蒿属高于 30% 为草原植被。据此划分标准,2007—2008 年度采样点周围植被应为森林,而 2008—2009 年度可认为接近草原。究其原因,可能主要与降水量的变化密切相关。王义凤等^[34]认为在黄土高原区,森林区年降水量高于 550 mm,森林草原地带年降水量 450—550 mm,典型草原地带年降水量 300—450 mm;洛川地区多年平均降水量为 550—650 mm^[20],植被区划为夏绿阔叶林^[20,35]。洛川 2007—2008 年度降水量为 513 mm,已经低于多年平均值,降至森林草原植被区降水量,2008—2009 年度更降低至 435.9 mm,进入草原区降水量标准,远低于森林发育的最低临界值,尽管从植被的直接观测量未发现明显变化,但花粉组合已经很好地表现出了变化。这一现象进一步表明:(1)洛川地区空气花粉较植被调查能更加灵敏地反映植被和气候的波动情况;(2)洛川地区森林植被非常脆弱,受气候影响较大,要特别注意对森林的保护,稍不注意或气候稍有恶化,植被有蜕变为草原的趋势。

2 个全年收集的样品中,主要花粉类型通量均比半月累加的结果要低很多(图 3,图 6),这可能主要受花粉保存的影响。黄土高原地区的氧化环境不利于花粉保存,且长时间处于不利环境下对花粉保存的影响更大^[36-39]。该研究全年收集的样品长时间暴露在空气中,受外界因素影响大,腐蚀丢失多,因而花粉通量较半月累加得到的全年总通量低很多。

4.3 常见花粉类型与气候要素的关系

从上述分析看,气候会明显地影响花粉组合,但不同气候因子对不同花粉类型影响并不一致,不同季节气候因子对不同花粉类型的影响也不尽相同。徐景先^[40]认为高温和低湿是植物花粉散布的最佳气象条件;空气中花粉的浓度与空气湿度以及被风传播的距离成反相关;风向对每个地区空气花粉浓度的影响依其地理位置不同而不同。但不同时段哪一气候因子对何种花粉类型数量产生何种影响?这些对于正确理解化石花粉谱及利用花粉组合进行植被动态预测均具有重要意义,但目前研究还很少。因此对洛川 2007—2009 年常见的几种花粉类型通量与不同时段主要气象要素做了 Pearson 相关性分析,结果见表 3。

木本花粉中,栎属、松属、蔷薇科通量最高,均主要与春季气温呈显著正相关(相关系数分别为 0.385, 0.536, 0.524),春季正值这几种植物的花期,也是这几种植物花粉含量的高峰期,表明春季高温利于这几种植物开花,从而使花粉数量增加,但春季的其他气候因子对花粉数量影响很小。栎属、蔷薇科还与夏秋温度有一定的相关性(相关系数分别为 0.331, 0.383);另外,松属、蔷薇科花粉通量也受夏秋冬 3 个季节相对湿度的影响,呈显著负相关(相关系数分别为 -0.495, -0.416),蔷薇科花粉通量还与冬季风速呈显著正相关(相关系数为 0.654)。杨属在花粉组合中含量也较高,但其通量仅受春季温度的影响,呈一定的负相关(相关系数为 -0.432)。胡颓子科是花粉组合中含量较高的灌木花粉,也主要受春季气候因子的影响,与相对湿度呈负相关(相关系数 -0.681),与平均风速呈正相关(相关系数为 0.567)。榆属、虎榛子属花粉含量也较高,但与各季节气候因子相关均不明显。

草本花粉中,蒿属花粉数量最多,且在全年不同季节均较多,但通量与多数时段气候因子相关不显著。从表 3 来看,其只与春季和冬季风速呈较显著正相关(相关系数分别为 0.459, 0.542),与冬季相对湿度呈较显著负相关(相关系数 -0.539)。春季和冬季都不是蒿属植物的开花季节,却是大风频发季节,空气中的蒿属应大多是被风扬起的当地之前散落在地面或远处更大范围的花粉。这与许清海^[41]、黄赐旋^[42]等的研究结果一致。藜科是花粉组合中含量仅次于蒿属的草本植物花粉,通量与春季温度呈一定的正相关(相关系数 0.524),与相对湿度呈显著负相关(相关系数 -0.545),显示高温低湿有利于藜科花粉扩散。与蒿属类似,春季也不是多数藜科植物的花期,因此实验地空气中高含量的藜科花粉可能与大风天气带来远处藜科植物花粉有关。菊科在草本花粉中数量也较多,菊科花粉通量与春、夏秋季的相对湿度均呈显著负相关(相关系数分别为 -0.464, -0.471),与各个季节平均风速呈显著正相关(相关系数分别为 0.43, 0.475, 0.579),表明低湿、

表 3 洛川 2007—2009 年主要花粉类型不同季节花粉通量与气候因子的相关系数

Table 3 The correlation between the main pollen taxa fluxes and the climate factors in different seasons from 2007—2009

	洛川春季花粉通量 Pollen fluxes in spring				洛川夏季花粉通量 Pollen fluxes in summer and autumn				洛川冬季花粉通量 Pollen fluxes in winter			
	平均气温 Average temperature	降水量 Precipitation	相对湿度 Relative humidity	平均风速 Average wind speed	平均气温 Average temperature	降水量 Precipitation	相对湿度 Relative humidity	平均风速 Average wind speed	平均气温 Average temperature	降水量 Precipitation	相对湿度 Relative humidity	平均风速 Average wind speed
栎属 <i>Quercus</i>	0.385(°)	0.091	-0.273	-0.127	0.331(°)	0.034	-0.241	0.058	0.241	0.034	0.098	0.384
松属 <i>Pinus</i>	0.536(*)	0.103	-0.325	0.016	0.215	-0.01	-0.0495(*)	0.333(°)	0.17	-0.425	-0.0584(*)	0.329
榆属 <i>Ulmus</i>	-0.291	-0.144	-0.292	0.377	-0.001	-0.046	-0.121	0.083	0.517(°)	0.019	-0.268	-0.331
杨属 <i>Populus</i>	-0.0432(°)	0.093	0.205	-0.009	0.212	-0.121	0.055	-0.159	0	0	0	0
蔷薇科 Rosaceae	0.524(°)	-0.236	-0.404	0.135	0.383(°)	-0.021	-0.0416(*)	0.191	0.303	-0.117	-0.0526(°)	0.654(*)
胡桃科 Elaeagnaceae	-0.062	-0.377	-0.0681(**)	0.567(*)	0.127	0.103	-0.328	0.26	0.347	0.053	-0.298	0.129
虎榛子属 <i>Ostryopsis</i>	0.295	0.126	-0.421	0.098	0.157	0.052	-0.326	0.194	0.346	0.303	0.291	0.052
蒿属 <i>Artemisia</i>	-0.149	-0.28	-0.416	0.459(°)	0.038	-0.01	0.144	-0.052	0.218	-0.353	-0.0539(°)	0.542(°)
藜科 <i>Chenopodiaceae</i>	0.524(°)	-0.092	-0.0545(*)	0.407	0.167	-0.164	-0.01	-0.124	0.369	0.055	-0.1	0.331
禾本科 Poaceae	0.705(**)	-0.093	-0.0560(*)	0.628(*)	0.278	-0.081	-0.007	-0.168	0.223	-0.0462(°)	-0.0699(*)	0.649(*)
菊科 <i>Compositae</i>	0.097	-0.271	-0.0464(°)	0.43(°)	-0.0548(**)	-0.232	-0.0471(*)	0.475(*)	0.348	-0.319	-0.417	0.579(*)
禾本科农作物 Cereals	0.539(*)	0.014	-0.0438(°)	0.447(°)	0.358(°)	-0.013	0.032	-0.25	0.204	0.312	0.54(°)	-0.094
所有类型总合 Total fluxes	0.418	-0.088	-0.0570(*)	0.238	0.066	-0.017	0.124	-0.055	0.267	-0.277	-0.0462(°)	0.515(°)
样品数量 Number of samples	14	14	14	14	24	24	24	24	12	12	12	12

** 在 0.01 水平显著相关 (双侧检验); * 在 0.05 水平显著相关 (双侧检验); ° 在 0.1 水平显著相关 (双侧检验)

大风利于菊科植物花粉地传播。菊科花粉通量还与夏秋季节平均气温呈显著负相关(相关系数 -0.543),表明夏秋季节的高温可能不利于菊科花粉产生。禾本科杂草和禾本科农作物花粉通量与春季气候因子相关性较一致,与春季的温度呈显著正相关(相关系数分别为 $0.705, 0.539$),与相对湿度呈负相关(相关系数分别为 $-0.56, -0.438$),与风速呈正相关(相关系数分别为 $0.628, 0.447$),春季有部分禾本科植物开花,可见花期温度较高有利于禾本科花粉数量地增加;禾本科杂草花粉通量还与冬季相对湿度呈显著负相关(相关系数 -0.699),与风速呈正相关(相关系数 0.649)。这均表明春季和冬季大风有利于禾本科植物地扩散;禾本科花粉个体较大,没有复杂的纹饰,在低湿环境下易于氧化分解^[43],可能是禾本科花粉通量与春、冬季相对湿度呈显著负相关得主要原因。

由此可见,不同花粉类型在不同季节受不同气候因子影响,同一花粉类型在不同季节受控的气候因子也不尽相同。

5 结论

(1)空气中的花粉组合主要反映区域植被特征,而不只是采样点局地植被特征。如榆属、栎属、虎榛子、胡颓子等植物在采样点周围少见分布,但花粉数量较多,表明花粉可通过大风天气等在较大范围散播。

(2)不同年份空气孢粉组合中主要花粉类型一致,但通量存在差异。2007—2008年木本植物花粉通量较高,2008—2009年草本植物花粉通量及花粉总通量较高,其中尤以蒿属花粉通量增加最为明显,可能主要与2008—2009年降水量明显偏低、相对湿度较低有关。

(3)全年收集样品花粉分析表明,洛川花粉组合可以较植被变化更灵敏的反映气候变化,少雨年份(2008—2009年度)花粉组合中草本花粉数量明显升高,蒿属高于70%,乔木花粉百分比低于10%。

(4)不同花粉类型在不同季节受不同气候因子影响,同一花粉类型在不同季节受控的气候因子也不尽相同。木本花粉中含量较高的栎属、松属、蔷薇科花粉数量主要受春季温度影响,温度越高花粉数量越多,其他季节花粉数量主要受相对湿度影响,湿度越低,花粉数量越大;榆属主要与冬季温度有关,温度越高,花粉数量越高;杨属只受春季温度影响,春季温度越低,花粉数量越多;胡颓子科花粉含量主要受春季相对湿度、风速影响,相对湿度越低,风速越大,花粉数量越多;绝大多数草本花粉数量主要受春、冬季相对湿度及风速影响,相对湿度越低,风速越大,花粉数量越高;另外部分草本花粉如禾本科数量还受春季温度影响,温度越高,花粉数量越多,菊科花粉数量在夏秋季节还受温度、湿度和风速的影响,温度越低,湿度越低,风速越大,花粉数量越多。

References:

- [1] Sun X J, Wu Y S. Modern pollen rain of mixed conifer forest in Changbai MT., Northeast China. *Acta Botanica Sinica*, 1988, 30(5): 549-557.
- [2] Zheng Z. A primary study on airborne pollen grains on the campus of Zhongshan University, Guangzhou. *Journal of Ecological Science*, 1994, (2): 11-17.
- [3] Xu Q H, Li Y C, Zhou L P, Zhou L P, Li Y Y, Zhang Z Q, Lin F Y. Pollen flux and vertical dispersion in coniferous and deciduous broadleaved mixed forest in the Changbai Mountains. *Chinese Science Bulletin*, 2007, 52(11): 1540-1544.
- [4] Wang X L, Li Y C, Xu Q H, Yang X L, Zhang Z Q, Jia H J, Cao X Y, Zhang L Y. Modern pollen distribution in the middle and north of Lüliang mountains, Shanxi Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(8): 3682-3690.
- [5] Zhang L Y, Xu Q H, Li Y C, Wang X L, Cao X Y, Tian F. Comparison of two year's pollen flux and vertical dispersion in the mixed conifer and broad-leaved forest of the Changbai Mountain. *Acta Palaeontologica Sinica*, 2009, 48(2): 222-227.
- [6] Xu Q H, Tian F, Li Y C, Yang X L. Pollen assemblages of Tauber traps and surface soil samples in steppe area of northern China and their relationship with vegetation and climate. *Journal of Palaeogeography*, 2009, 11(1): 81-90.
- [7] Yang Z J, Xu J M. Advances in studies on relationship among pollen, vegetation and climate. *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, 26 (Supplement): 73-81.
- [8] Sang G S. Progress on the research of historical landform and soil erosion evolution in Loess Plateau. *Journal of Zhejiang Normal University: Natural Sciences*, 2004, 27(4): 398-402.
- [9] Lu H Y, An Z S, Vandenbergh J, Nugteren G, Mingaars N, Schwan J. A dating model of Loess stratigraphy in the central Chinese Loess Plateau and its preliminary application. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1997, 15(3): 150-152.

- [10] Wu N Q, Rousseau D D, Liu D S. Land mollusk records from the Luochuan loess sequence and their paleoenvironmental significance. *Science in China (Series D)*, 1996, 39(5): 494-502.
- [11] Li Y M. Luochuan Loess-Paleosol Sequence and Paleo-environmental implications: a brief review. *Advance in Earth Sciences*, 2002, 17(1): 118-125.
- [12] Liu D S, An Z S. A preliminary magneto stratigraphic study of the Beihanzhai Loess Section. *Geochimica*, 1984, (2): 134-137.
- [13] Xie Q Q, Chen T H, Sun Y B, Li X X, Xu X C. Composition of ferric oxides in the Luochuan Loess-Red clay Sequences on China's Loess Plateau and its paleoclimatic implications. *Acta Mineralogica Sinica*, 2008, 28(4): 389-396.
- [14] An Z S, Kukla G, Liu Dongsheng. Loess Stratigraphy in Luochuan of China. *Quaternary Sciences*, 1989, (2): 155-168.
- [15] Tang K L, He X B. Revelation of information on genesis of multi paleosol from Quaternary Loess Profile. *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39(5): 609-617.
- [16] Han J M, Hus J J, Liu D S, Paepe R, Van den Berghe R E. Magnetic properties of the Malan and Lishi formations. *Quaternary Sciences*, 1991, (4): 310-325.
- [17] Lü H Y, Han J M, Wu N Q, Guo Z T. The analysis on the magnetic susceptibility of modern soils in China and its paleoclimatic significance. *Science in China: Series B*, 1994, 24(12): 1290-1297.
- [18] Li B C, Sun J Z. Vegetation and climate environment during the late Pleistocene in Loess Plateau, China. *Geographical Research*, 2004, 23(5): 641-648.
- [19] Cai M T, Wei M J. Climate Change during the Penultimate Interglacial in Luochuan area. *Journal of Desert Research*, 2009, 29(3): 536-543.
- [20] Lei M D. Vegetation in Shaanxi, China. Beijing: Science Press, 1999: 23-28, 448-448, 461-469.
- [21] Liu C. The Study of Paleo-Vegetation Evolution and Reconstruction in Last Interglacial Age in Luochuan Area[D]. Beijing: Master Thesis of Capital Normal University, 2008: 14-18.
- [22] Pierre C. Nouvelles techniques de detection des flux et retombées polliniques: etude de la sedimentation des pollens et spores a la surface de sol. *Pollen et Spores*, 1974, 16(1): 103-141.
- [23] Wang F X, Qian N F, Zhang Y L, Yang H Q. Pollen flora of China. 2nd ed. Beijing: Science Press, 1995: 1-461.
- [24] Lan S Y, Xu Z X. Pollen Spin-off Graphic by Scanning Electron Microscope. Beijing: Science Press, 1996: 1-48.
- [25] Wang P L. Practical Pollen in China. Chengdu: Sichuan Publishing House of Science and Technology, 1998: 1-152.
- [26] Zhang X P, Zhou Z Z. A Study on Pollen Morphology and Its Phylogeny of Polygonaceae in China. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 1998: 1-223.
- [27] Wan T, Wei Z J, Yang J, Zhao S, Yan L, Zhang E H. Flora of grassland Modern pollen Inner Mongolia. Beijing: China Agriculture Press, 1999: 1-135.
- [28] Sun X Z, Li Y F, Zhao Z S. The preliminary investigation on the trends of air-borne pollens in Xian Area. *Journal of Environment and Health*, 1994, (2): 80-81.
- [29] Chen Q J, Yu X, Lin W S. An investigation of airborne allergic pollen in Tianjin City. *Tianjin Medical Journal*, 1994, (10): 638-640.
- [30] Liu B X, Bai Y R. Primary research method on forecasting the pollen concentration. *Scientia Meteorologica Sinica*, 2007, 27(Supplement): 95-98.
- [31] Jiang S X, Li Y C, Xu Q H, Li Y, Liang J. Airborne palynological assemblages in suburb of Lanzhou and influence of special weather. *Journal of Palaeogeography*, 2010, 12(5): 629-638.
- [32] Zhang D S, Xu J X, Zhang S L, Feng T, Wan G Z. Preliminary study on predicting model of airborne pollen flux in Beijing. *Scientia Meteorologica Sinica*, 2010, 30(6): 822-826.
- [33] Xu Q H, Li Y C, Yang X L, Zheng Z H. Quantitative relationship between pollen and vegetation in northern China. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2007, 50(4): 582-599.
- [34] Wang Y F, Xiao X M. Climatic gradient of main vegetation types in the Loess Plateau Region. *Acta Botanica Sinica*, 1993, 35(4): 291-299.
- [35] Wang J A, Zuo W. Geographic Atlas of China. Beijing: China Map Press, 2010: 51-51.
- [36] Zhu Z C. The discussion of difficult paleoenvironmental research in loess layers. *Chinese Science Bulletin*, 1982, 27(24): 1515-1518.
- [37] Pan A D. The quaternary palynological record and environment at the Northeast Margin of the Tibetan Plateau. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1998, 20(2): 14-19.
- [38] Cao X Y, Xu Q H. A laboratorial study on the influence of Alkaline environment to the preservation of *Pinus tabulaeformis* pollen. *Quaternary Sciences*, 2006, 26(6): 1007-1011.
- [39] Cao X Y, Tian F, Xu Q H, Li C Y, Chen L, Bai X. A laboratorial study of the effect of Oxygenation environment on the preservation of *Pinus tabulaeformis* pollen. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2009, 31(3): 571-575.
- [40] Xu J X, Li Y N, Zhang D S. Advances in the variation of atmospheric pollen and its forecasting study. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(7): 3854-3863.
- [41] Xu Q H, Yang X L, Liang W D. Modern pollen dispersions in the South Yanshan Mountains. *Geography and Territorial Research*, 2000, 16(4): 54-58.
- [42] Huang C X, Cour P, Xu Q H, Yang X L, Liang W D. The study of airborne pollen and spores in Hailun of northeast China plain. *Progress in*

Geography, 2001, 20(4): 371-377.

- [43] Li Y M, Chen L B. Vigor change of several grasses pollen stored in different temperature and humidity conditions. Plant Physiology Communications, 1998, 34(1): 35-37.

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 郑卓. 中山大学校园内空气中孢子花粉散布的初步调查. 生态科学, 1994, (2): 11-17.
- [4] 王学丽, 李月丛, 许清海, 阳小兰, 张振卿, 贾红娟, 曹现勇, 张丽艳. 山西西部吕梁山中北段现代花粉散布特征. 生态学报, 2008, 28(8): 3682-3690.
- [5] 张丽艳, 许清海, 李月丛, 王学丽, 曹现勇, 田芳. 长白山针阔叶混交林带花粉通量及垂直散布年际对比. 古生物学报, 2009, 48(2): 222-227.
- [6] 许清海, 田芳, 李月丛, 阳小兰. 中国北方草原区捕捉器样品与表土样品花粉组合及其与植被和气候的关系. 古地理学报, 2009, 11(1): 81-90.
- [7] 杨振京, 徐建明. 孢粉-植被-气候关系研究进展. 植物生态学报, 2002, 26(增刊): 73-81.
- [8] 桑广书. 黄土高原历史地貌与土壤侵蚀演变研究进展. 浙江师范大学学报: 自然科学版, 2004, 27(4): 398-402.
- [9] 鹿化煜, 安芷生, Vandenberghe J, Nugteren G, Mingaars N, Schwan J. 洛川黄土地层定年的一个模式及其初步应用. 沉积学报, 1997, 15(3): 150-152.
- [11] 李玉梅. 最近 2.5 Ma 黄土高原环境变化研究进展——来自洛川黄土地层的证据. 地球科学进展, 2002, 17(1): 118-125.
- [12] 刘东生, 安芷生. 洛川北韩寨黄土磁性地层学的初步研究. 地球化学, 1984, (2): 134-137.
- [13] 谢巧勤, 陈天虎, 孙玉兵, 李晓萱, 徐晓春. 洛川黄土-红粘土序列铁氧化物组成及其古气候指示. 矿物学报, 2008, 28(4): 389-396.
- [14] 安芷生, Kukla G, 刘东生. 洛川黄土地层学. 第四纪研究, 1989, (2): 155-168.
- [15] 唐克丽, 贺秀斌. 第四纪黄土剖面多元古土壤形成发育信息的揭示. 土壤学报, 2002, 39(5): 609-617.
- [16] 韩家楦, Hus J J, 刘东生, Paepe R, Van den Berghe R E. 马兰黄土和离石黄土的磁学性质. 第四纪研究, 1991, (4): 310-325.
- [17] 吕厚远, 韩家楦, 吴乃琴, 郭正堂. 中国现代土壤磁化率分析及其古气候意义. 中国科学: B 辑, 1994, 24(12): 1290-1297.
- [18] 李秉成, 孙建中. 黄土高原晚更新世的植被与气候环境. 地理研究, 2004, 23(5): 641-648.
- [19] 蔡茂堂, 魏明建. 洛川地区倒数第二次间冰期气候变化研究. 中国沙漠, 2009, 29(3): 536-543.
- [20] 雷明德. 陕西植被. 北京: 科学出版社, 1999: 23-28, 448-448, 461-469.
- [21] 刘超. 洛川地区末次间冰期古植被演化与还原研究 [D]. 北京: 首都师范大学, 2008: 14-18.
- [23] 王伏雄, 钱南芬, 张玉龙, 杨惠秋. 中国植物花粉形态 (第二版). 北京: 科学出版社, 1995: 1-461.
- [24] 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: 1-48.
- [25] 王萍莉. 中国实用花粉. 成都: 四川科学技术出版社, 1998: 1-152.
- [26] 张小平, 周忠泽. 中国藜科花粉的系统演化. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1998: 1-223.
- [27] 宛涛, 卫智军, 杨静, 赵晟, 燕玲, 张恩厚. 内蒙古草地现代植物花粉形态. 北京: 中国农业出版社, 1999: 1-135.
- [28] 孙秀珍, 李玉馥, 赵子慎. 西安地区气传花粉动态的初步调查. 环境与健康杂志, 1994, (2): 80-81.
- [29] 陈全尽, 于心, 林文森. 天津市空气中致敏花粉的调查. 天津医药, 1994, (10): 638-640.
- [30] 刘彬贤, 白玉荣. 花粉浓度预报方法的初步探究. 气象科学, 2007, 27(增刊): 95-98.
- [31] 蒋素雪, 李月丛, 许清海, 李育, 梁剑. 兰州郊区空气孢粉组合及特殊天气的影响. 古地理学报, 2010, 12(5): 629-638.
- [32] 张德山, 徐景先, 张姝丽, 冯涛, 宛公展. 北京地区花粉通量演变曲线的预报模式初探. 气象科学, 2010, 30(6): 822-826.
- [34] 王义凤, 肖向明. 黄土高原地区主要植被类型的气候梯度分布. 植物学报, 1993, 35(4): 291-299.
- [35] 王静爱, 左伟. 中国地理图集. 北京: 中国地图出版社, 2010: 51-51.
- [36] 朱志成. 对黄土地层古植被研究中困难问题的探讨. 科学通报, 1982, 27(24): 1515-1518.
- [37] 潘安定. 青藏高原东北边缘第四纪孢粉及其环境. 冰川冻土, 1998, 20(2): 14-19.
- [38] 曹现勇, 许清海. 碱性环境对油松花粉保存影响实验研究. 第四纪研究, 2006, 26(6): 1007-1011.
- [39] 曹现勇, 田芳, 许清海, 李月丛, 陈利, 白旋. 氧化环境对油松花粉保存影响实验研究. 冰川冻土, 2009, 31(3): 571-575.
- [40] 徐景先, 李耀宁, 张德山. 空气花粉变化规律和预测预报研究进展. 生态学报, 2009, 29(7): 3854-3863.
- [41] 许清海, 阳小兰, 梁文栋. 燕山地区花粉散布特征研究. 地理学与国土研究, 2000, 16(4): 54-58.
- [42] 黄赐旋, Cour P, 许清海, 阳小兰, 梁文栋. 东北平原海陆空气孢粉分析. 地理科学进展, 2001, 20(4): 371-377.
- [43] 李要民, 陈良碧. 不同温湿条件下贮藏的 3 种禾本科植物花粉活力变化. 植物生理学通讯, 1998, 34(1): 35-37.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 24 December, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

A bibliometric study of biodiversity research in China	LIU Aiyuan, GUO Yuqing, LI Shiyong, et al (7635)
Effects of elevated CO ₂ and nitrogen deposition on leaf nutrient quality of <i>Fargesia rufa</i> Yi	 ZHOU Xianrong, WANG Jianhua, ZHANG Hong, et al (7644)
Airborne pollen assemblages and their relationships with climate factors in the central Shaanxi Province of the Loess Plateau: a case in Xiaheimugou, Luochuan County	LÜ Suqing, LI Yuecong, XU Qinghai, et al (7654)
Spatial and temporal change in ecological assets in the Yangtze River Delta of China 1995—2007	 XU Xibao, CHEN Shuang, YANG Guishan (7667)
Evaluation and optimization of woodland ecological patterns for Qingdao based on the agent-based model	 FU Qiang, MAO Feng, WANG Tianqing, et al (7676)
Interactive mechanism of service function of alpine rangeland ecosystems in Qinghai-Tibetan Plateau	 LIU Xingyuan, LONG Ruijun, SHANG Zhanhuan (7688)
Preliminary evaluation of air temperature reduction of urban green spaces in Beijing	 ZHANG Biao, GAO Jixi, XIE Gaodi, et al (7698)
Resources metabolism analysis for the pulp and paper industry in Wuhan, China	 SHI Xiaoqing, LI Xiaonuo, ZHAO Linjia, et al (7706)
The characteristics and influential factors of direct carbon emissions from residential energy consumption: a case study of Lijiang City, China	WANG Danyin, TANG Mingfang, REN Yin, et al (7716)
Spatial targeting of payments for ecosystem services Based on SWAT Model and cost-benefit analysis	 SONG Xiaoyu, LIU Yuqing, DENG Xiaohong, et al (7722)
The wind tunnel test of plastic greenhouse and its surface wind pressure patterns	 YANG Zaiqiang, ZHANG Bo, XUE Xiaoping, et al (7730)
Population quantitative characteristics and dynamics of rare and endangered plant <i>Davidia involucrata</i> in Hunan Province	 LIU Haiyang, JIN Xiaoling, SHEN Shouyun, et al (7738)
Phenotypic diversity in populations of germplasm resources of <i>Rodgersia sambucifolia</i> and related species	 LI Pingping, MENG Hengling, CHEN Junwen, et al (7747)
Effects of sand burial and seed size on seed germination, seedling emergence and growth of <i>Caragana korshinskii</i> Kom. (Fabaceae) ...	 YANG Huiling, LIANG Zhenlei, ZHU Xuanwei, et al (7757)
Population-keeping mechanism of the parasitoid <i>Dastarcus helophoroides</i> (Coleoptera: Bothrideridae) of <i>Massicus raddei</i> (Coleoptera: Cerambycidae) in oak forest	YANG Zhongqi, TANG Yanlong, JIANG Jing, et al (7764)
Study of mingling based on neighborhood spatial permutation	LOU Minghua, TANG Mengping, QIU Jianxi, et al (7774)
Comparison of three regression analysis methods for application to LAI inversion using Hyperion data	 SUN Hua, JU Hongbo, ZHANG Huaiqing, et al (7781)
Response of seed germination and seedling growth of <i>Pinus koraiensis</i> and <i>Quercus mongolica</i> to comprehensive action of warming and precipitation	ZHAO Juan, SONG Yuan, SUN Tao, et al (7791)
Impacts of water stored in sapwood <i>Populus bolleana</i> on its sap flux	DANG Hongzhong, LI Wei, ZHANG Youyan, et al (7801)
Dynamics of greenhouse gases emission and its impact factors by fire disturbance from <i>Alnus sibirica</i> forested wetland in Xiaoxing'an Mountains, Northeast China	GU Han, MU Changcheng, ZHANG Bowen (7808)
Different tide status and salinity alter stoichiometry characteristics of mangrove <i>Kandelia candel</i> seedlings	 LIU Biner, LIAO Baowen, FANG Zhanqiang (7818)
Effects of shrub encroachment in desert grassland on runoff and the induced nitrogen loss in southeast fringe of Tengger Desert	 LI Xiaojun, GAO Yongping (7828)
Community structure and throughfall erosivity characters of artificial rainforest in Xishuangbanna	 DENG Yun, [TANG Yanlin], CAO Min, et al (7836)
Temporal-spatial variations of net ecosystem productivity in alpine area of southwestern China	 PANG Rui, GU Fengxue, ZHANG Yuandong, et al (7844)

Relationships between chemical compositions of <i>Quercus</i> species seeds and climatic factors in temperate zone of NSTEC	LI Dongsheng, SHI Zuomin, LIU Shirong, et al (7857)
Effects of simulated acid rain stress on the PS II reaction center and free radical metabolism in leaves of longan	LI Yongyu, PAN Tengfei, YU Dong, et al (7866)
Assessment of organic pollution for surface soil in Shenyang suburbs	CUI Jian, DU Jizhong, MA Hongwei, et al (7874)
The impact of rainfall on soil respiration in a rain-fed maize cropland	GAO Xiang, HAO Weiping, GU Fengxue, et al (7883)
Effects of winter crops on enzyme activity and morphological characteristics of root in subsequent rice crops	YU Tianyi, PANG Huancheng, REN Tianzhi, et al (7894)
Dynamic changes of soil moisture and nitrate nitrogen in wheat and maize intercropping field under different nitrogen supply	YANG Ruiju, CHAI Shouxi, MA Zhongming (7905)
Characteristics of the bird diversity and the impact factors in Weishan Lake	YANG Yuewei, LI Jiuen (7913)
The effect of cropping landscapes on the population dynamics of the cotton bollworm <i>Helicoverpa armigera</i> (Lepidoptera, Noctuidae) in the northern Xinjiang	LU Zhaozhi, PAN Weilin, ZHANG Xin, et al (7925)
The seasonal variations of nitrogen and phosphorus release and its fluxes from the sediments of the Beili Lake in the Hangzhou West Lake	LIU Jingjing, DONG Chunying, SONG Yingqi, et al (7932)
Optimization of lake model salmo based on real-coded genetic algorithm	GUO Jing, CHEN Qiuwen, ZHANG Xiaoqing, et al (7940)
The influence of climatic environmental factors and fishing pressure on changes of hairtail catches in the northern South China Sea	WANG Yuezhong, SUN Dianrong, CHEN Zuozhi, et al (7948)
Seasonal and spatial distribution of acid volatile sulfide in sediment under different mariculture types in Nansha Bay, China	YAN Tingru, JIAO Haifeng, MAO Yuze, et al (7958)
Review and Monograph	
Research progress on the mechanism of improving plant cold hardiness	XU Chengxiang (7966)
Influences of vegetation on permafrost: a review	CHANG Xiaoli, JIN Huijun, WANG Yongping, et al (7981)
Home-field advantage of litter decomposition and its soil biological driving mechanism: a review	ZHA Tonggang, ZHANG Zhiqiang, SUN Ge, et al (7991)
Research progress on the relationship of pollutants between road-deposited sediments and its washoff	ZHAO Hongtao, LI Xuyong, YIN Chengqing (8001)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 24 期 (2012 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 24 (December, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元