

常婧, 惠争闯, 耿豪鹏, 等. 黑河中游现代孢粉传播过程研究[J]. 地理科学, 2017, 37(12): 1925-1932. [Chang Jing, Hui Zhengchuan, Geng Haopeng et al. Modern Pollen Transportation Process in the Middle Reach of the Heihe River. Scientia Geographica Sinica, 2017, 37(12): 1925-1932.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2017.12.017

# 黑河中游现代孢粉传播过程研究

常婧, 惠争闯, 耿豪鹏, 胡小飞, 潘保田

(兰州大学资源环境学院西部环境教育部重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** 在位于河西走廊的黑河中游地区选取8个河流沉积样品和7个表土样品进行孢粉分析, 通过其孢粉百分含量分别探讨河流与风力搬运对孢粉传播的影响。结果表明: 风力对孢粉具有较强的搬运能力, 能够将区域外或上游山地植被孢粉搬运至中游地区, 但其对当地孢粉贡献较小, 一般低于10%; 河流搬运孢粉的能力大于风力, 能够将上游山地植被孢粉大量的搬运至研究区, 外来孢粉含量最高可达39.4%, 成为孢粉谱的重要成分。表土孢粉组合能够较好的反映研究区现代植被的分布情况; 河床沉积物孢粉组合反映的是上游山地植被和研究区植被混合状况。

**关键词:** 现代孢粉传播; 干旱区; 黑河中游; 河流搬运; 风力搬运

**中图分类号:** P534.63      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-0690(2017)12-1925-08

在自然因素中, 植物对生存环境的反应最为敏感<sup>[1]</sup>。孢粉由于其体积小、质量轻, 产量大且易于保存而成为研究全球变化的重要指标之一<sup>[2]</sup>, 被广泛应用于古植被和古气候的重建工作中, 特别是第四纪植被与气候变化<sup>[3-9]</sup>。在干旱区, 河流和风力搬运来的外来孢粉会影响孢粉和当地植被的对应关系。受河流作用影响, 上游植被孢粉(如云杉)易被大量搬运至中下游沉积, 在中下游孢粉组合中呈现超代表性<sup>[10]</sup>。风力作用可以使各科属孢粉与植被之间的关系经常不一致, 同一科属的花粉在不同植被带中代表性也各有差异<sup>[11]</sup>。由此可见, 在干旱区, 河流和风力对孢粉传播影响显著。

黑河流域作为中国西北干旱区重要水系之一, 其脆弱的生态系统和独特的地理环境特征对全球变化极其敏感, 已成为近年来国际环境变化研究的热点地区之一<sup>[12]</sup>。迄今为止, 黑河流域开展的研究主要集中在水文和生态等方面<sup>[13-15]</sup>, 孢粉研究较少, 主要涉及不同海拔高度的花粉组合特征<sup>[16]</sup>, 利用孢粉-植被-气候关系恢复古环境<sup>[17]</sup>以及通过孢粉分析研究不同孢粉组合、不同沉积环

境和孢粉来源所代表的环境指示意义<sup>[18]</sup>等方面, 而对于现代孢粉传播方面的研究尚不足。

鉴于此, 本研究利用在黑河中游采集的表土样品和河流沉积物样品进行孢粉分析, 对河流和风力2种动力作用下的孢粉传播机制进行研究, 揭示2种不同动力作用对现代孢粉传播的影响, 为黑河流域利用孢粉重建古气候提供借鉴和科学依据。

## 1 研究区概况

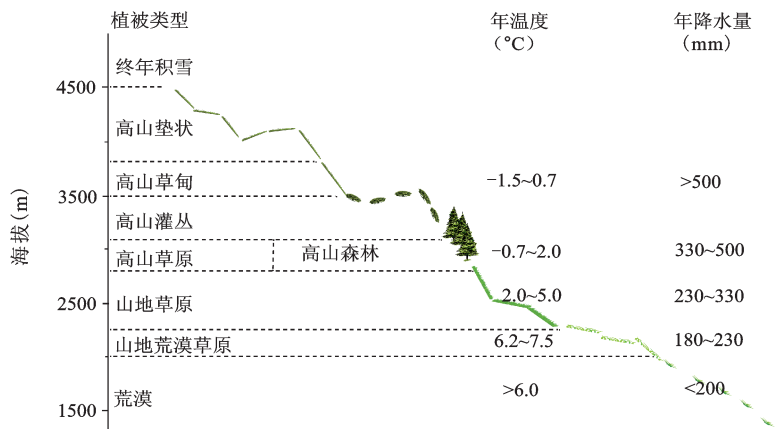
黑河流域是中国西北地区第二大内陆河流域, 发源于祁连山中段, 全长821 km, 面积约 $14.29 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。流域受中纬度西风带环流以及极地冷气团的影响, 其气候类型为典型的大陆性气候, 区内气候干燥, 日照时间长, 昼夜温差大, 降水较少且分布不均<sup>[19]</sup>。流域内植被具有很强的地带性(图1): 海拔4 300 m以上为终年积雪和冰川带, 海拔3 800~4 300 m为高山垫状植被带, 海拔3 800~3 500 m为高山草甸带, 海拔3 500~3 100 m为高山灌丛带, 海拔3 100~2 500 m为森林带, 海拔2 500~2 350 m为草甸和草原带, 海拔2 350~2 000 m为荒

**收稿日期:** 2016-12-14; **修订日期:** 2017-02-24

**基金项目:** 国家自然科学基金面上项目(41571003), 国家自然科学基金重大研究计划-重点支持项目(91125008), 国家自然科学基金项目(41301216)资助。[Foundation: National Natural Science Foundation of China(41571003), the Key Project of the Major Research Plan of the NSFC (91125008), National Natural Science Foundation of China (41301216).]

**作者简介:** 常婧(1993-), 女, 山西朔州人, 博士研究生, 主要从事气候变化研究。E-mail: changj16@lzu.edu.cn

**通讯作者:** 惠争闯, 讲师。E-mail: huizhch@lzu.edu.cn

图1 黑河流域垂直植被带分布<sup>[10]</sup>Fig.1 Vertical vegetation belts in the Heihe River Basin<sup>[10]</sup>

漠草原带和海拔2 000 m以下为荒漠带<sup>[20]</sup>。

## 2 研究方法

在黑河中游地区海拔1 252~1 730 m之间的荒漠植被带(图1),从东南到西北以10 km为间隔采集15个孢粉样品(图2),采样点尽量选择在不受或少受人类活动影响的地方。样品采集于50 m×50 m的样方中,按梅花式采样法进行采样,并详细记录采样点周围的主要植物科属(表1)。总计采集8个河流沉积样品(RB)和7个表土样品(SS),其中河流沉积样品均为河床相样品,RB1,RB5,RB7和RB8采集于黑河河床边缘,RB2,RB3,RB4和RB6采集于黑河河床中部,表土样品均为黑河河道两侧的现代土壤样品。

花粉提取采用的是常规的氢氟酸过筛法<sup>[21]</sup>。取样后,在每个样品中加入1粒石松孢子片剂(27 637粒/片)。所有样品的鉴定均在Olympus显微镜下完成,每个样品至少鉴定花粉300粒。孢粉鉴定均采用与正式出版的化石与现代图版对比鉴定的方法,主要参考文献[22,23]以及保存在兰州大学资源环境学院的现代孢粉标准片。

## 3 结果

黑河中游15个现代孢粉样品(图2)共鉴定出36个主要科属(表2),可以大致分为乔木植物、灌木植物、草本植物、水生植物和蕨类植物5类。乔木植物主要包括雪松属(*Cedrus*)、云杉属(*Picea*)、白蜡属(*Fraxinus*)、榆属(*Ulmus*)、桤木属(*Alnus*)、桦木属(*Betula*)和松属(*Pinus*);灌木植物主要包括

白刺属(*Nitraria*)、胡颓子科(*Elaeagnaceae*)、怪柳属(*Tamarix*)和麻黄属(*Ephedra*);草本植物主要包括蒿属(*Artemisia*)、藜科(*Chenopodiaceae*)、石竹科(*Caryophyllaceae*)、菊科(*Asteraceae*)、蔷薇科(*Rosaceae*)、毛茛科(*Ranunculaceae*)和十字花科(*Cruciferae*)等;水生植物为香蒲科(*Typhaceae*);蕨类植物只见水龙骨科(*Polypodiaceae*)孢子。

按照孢粉来源和现代植被生境状况,大致可以划分为4个生态组<sup>[24,25]</sup>(表3,4)。第一组:来自流域以外区域的孢粉,主要为雪松属和黄杨科(*Buxaceae*),雪松属分布于阿富汗至印度海拔1 300~3 300 m的地区<sup>[26]</sup>,黄杨科多生长在海拔1 200~2 600 m的山谷和溪边<sup>[20]</sup>,野外考察发现雪松属和黄杨科在流域内都没有生长,其主要反映风力作用对孢粉组合的影响。第二组:云杉属、水龙骨科、榆属和桦木属等来自山地植被带的孢粉,该类孢粉含量较高,其中云杉属分布在祁连山林区2 350~3 300 m之间,桦木属分布在祁连山区海拔2 600~2 830 m以及黑河流域海拔2 400 m左右的山坡,水龙骨科生长于祁连山走廊南山海拔2 500 m左右的岩石间<sup>[20]</sup>,榆属分布在祁连山海拔2 500~3 300 m中山区的河谷地带<sup>[27]</sup>,该组孢粉在表土孢粉组合中主要反映风力作用对孢粉组合的影响,在河流沉积物孢粉组合中,主要反映河流作用对孢粉组合的影响。第三组:局地科属孢粉,包括怪柳属、白刺属、麻黄属、胡颓子科等科属,为典型的荒漠植被,分布在河西走廊海拔2 000 m以下<sup>[26]</sup>,该组孢粉主要反映当地植被状况。第四组:广域科属花粉,包括蔷薇科、菊科、藜科、禾本科和蒿属等,该组孢粉含

表1 采样点的基本特征

Table 1 The characteristics of the sampling sites

样品编号	纬度(N)	经度(E)	海拔(m)	样品类型	主要植物
SS1	39.259°	100.273°	1383	表土苔藓样品	芦苇( <i>Phragmites australias</i> )、猪毛菜( <i>Salsola collina</i> )、柳( <i>Salix</i> )、蒿、菊科、毛茛科、杨( <i>Populus</i> )、沙枣( <i>Elaeagnus angustifolia</i> )、榆
SS2	39.308°	100.199°	1375	表土苔藓样品	柳、杨、柽柳、针茅草( <i>Stipa capillata</i> )
SS3	39.359°	100.005°	1364	表土苔藓样品	柽柳、胡杨( <i>Populus euphratica</i> )、针茅草、芦苇、菊科
SS4	39.355°	99.912°	1348	表土苔藓样品	芦苇、柽柳、菊科
SS5	39.386°	99.884°	1355	表土苔藓样品	芦苇、胡杨、柳、菊科、猪毛菜
SS6	39.462°	99.733°	1329	表土苔藓样品	菊科、芦苇、柳、柽柳、豆科( <i>Leguminosae</i> )、杨、猪毛菜
SS7	39.488°	99.679°	1312	表土苔藓样品	芦苇、柳、柽柳、沙枣、针茅草、棉花( <i>Gossypium</i> )、豆科
RB1	38.760°	100.115°	1730	河流沉积样品	
RB2	38.822°	100.199°	1637	河流沉积样品	
RB3	38.877°	100.308°	1541	河流沉积样品	
RB4	38.877°	100.310°	1533	河流沉积样品	
RB5	39.327°	100.108°	1321	河流沉积样品	
RB6	39.328°	100.107°	1320	河流沉积样品	
RB7	39.574°	99.649°	1262	河流沉积样品	
RB8	39.661°	99.580°	1252	河流沉积样品	

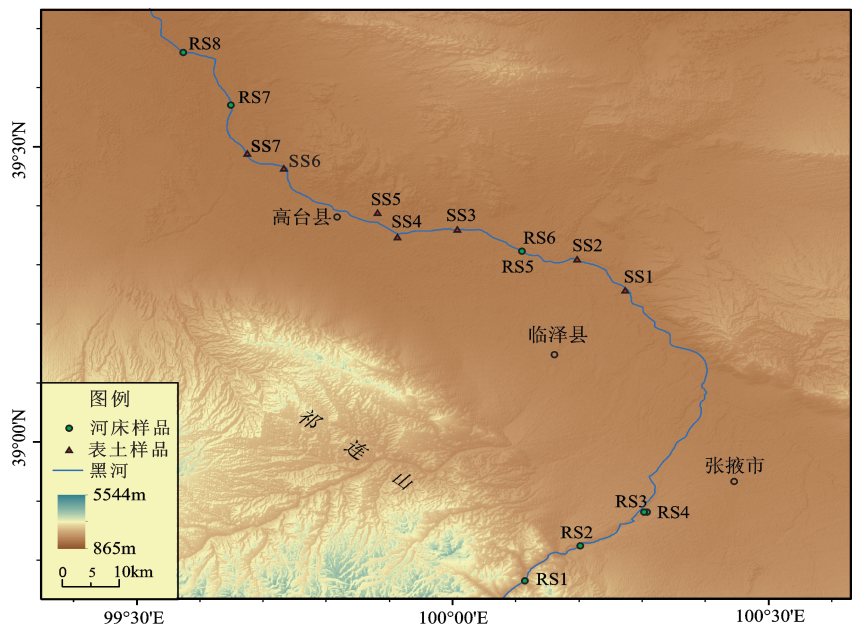


图2 黑河中游采样点分布

Fig.2 Distribution of sampling sites in middle reach of the Heihe River

量较高,且为典型的干旱区植被,广泛分布在整个流域<sup>[26]</sup>,很难分辨出是来自山地还是当地固有的,反映区域植被状况。

3.1 表土样品的孢粉组合特征

表土样品的孢粉图谱显示(图3),代表外来花

粉的第一组孢粉含量很低,不超过5%,主要有乔木雪松属(0~3.3%)和黄杨科(0~2.1%);代表上游山地植被的第二组孢粉含量在1.5%~6%之间变化,主要为草本植物毛茛科(0~2.9%)和乔木榆属(0.5%~3.6%);代表局地花粉的第三组孢粉含量较



表2 现代孢粉样品鉴定的主要科属

Table 2 Main pollen taxa identified from modern pollen samples					
乔木	灌木	草本	水生	蕨类	
桉木属	黄杨科	蒿属	禾本科	香蒲科	水龙骨科
桦木属	胡颓子科	菊科	蓼科		
雪松属	麻黄属	石竹科	蔷薇科		
白蜡树属	沙棘属	藜科	毛茛科		
胡桃属	豆科	莎草科	茄科		
木犀科	白刺属	川续断科	唐松草属		
云杉属	柽柳属	葎草属	伞形科		
松属		唇形科	十字花科		
栎属		锦葵科			
榆属					

表3 表土样品主要科属的生态组分类及各组含量

Table 3 Ecological groups of surface soil samples and their sum percentages		
生态组	科属名称	含量(%)
第一组	黄杨科、雪松属	0~4.4
第二组	白蜡树属、胡桃属、毛茛科、榆属	1.5~6.0
第三组	麻黄属、胡颓子科、葎草属、唇形科、白刺属、茄科、柽柳属	6.6~16.7
第四组	蒿属、菊科、石竹科、藜科、松属、禾本科、蔷薇科	78.8~89.3

表4 河流沉积物样品主要科属的生态组分类及各组含量

Table 4 Ecological groups of river sediment samples and their sum percentages		
生态组	科属名称	含量(%)
第一组	雪松属	0~0.5
第二组	桉木属、桦木属、木犀科、云杉属、水龙骨科、栎属、毛茛科、榆属	1~39.4
第三组	十字花科、川续断科、麻黄属、胡颓子科、沙棘属、葎草属、唇形科、锦葵科、白刺属、茄科、柽柳属、唐松草属、香蒲科、伞形科	3.6~27.5
第四组	蒿属、菊科、石竹科、藜科、莎草属、豆科、松属、禾本科、蓼科、蔷薇科	48.6~94.1

高,在6.6%~16.7%之间波动,其中主要为灌木柽柳属(3.9%~12.3%)、白刺属(0.7%~1.9%)、胡颓子科(0~2.6%);代表广域花粉的第四组孢粉含量最高,主要为耐干旱的草本植物,最大值达89.3%,主要包括蒿属(20.7%~29.8%)、石竹科(4.1%~21.9%)、藜科(11.8%~23.7%)和禾本科(8.7%~32.6%)。与河流沉积样品孢粉组合相对比,其最大的不同之处在于表土样品并没有蕨类植物水龙骨科孢子和水生

植物香蒲科花粉以及湿生草本莎草科花粉出现。

与采样点周围植被对比发现,表土孢粉组合主要由反映当地植被的第三生态组和反映区域植被的第四生态组组成,能够较好的反映采样点周围植被和区域植被组成。第二组的孢粉在各采样点中均具有超代表性,体现了干旱区风力对孢粉的搬运作用。

### 3.2 河流沉积样品的孢粉组合特征

河流沉积样品的孢粉图谱显示(图4),代表外来花粉的第一组孢粉含量总和仍然很低,不超过1%,主要为乔木雪松属(0~0.5%);代表上游山地植被的第二组孢粉含量总和波动较大,在1%~39.4%之间变化,主要包括针叶树云杉属(0.6%~27.3%)和蕨类植物水龙骨科(0~13.1%);代表局地花粉的第三组孢粉含量较高,在3.6%~27.5%之间波动,主要包括灌木白刺属(0~4.3%)、麻黄属(0.6%~2.5%)、胡颓子科(0.2%~5.9%)以及水生植物香蒲科(1.1%~20.7%);代表广域花粉的第四组孢粉含量总和依旧最高,在48.6%~94.1%之间变化,主要为耐干旱的草本植物,包括蒿属(4.7%~54.6%)、藜科(11.1%~25.5%)、禾本科(1.2%~14.7%)、莎草科(1.6%~38%)和菊科(1.5%~11.7%)。

由孢粉组合分析可见,河流沉积物孢粉主要由当地植被花粉(第三组和第四组)和山地植被花粉(第二组)组成,其不仅反映了采样点周围植被情况,还反映了河流上游的植被情况。

## 4 讨论与分析

采样点位于海拔1 252~1 730 m之间,属荒漠植被带<sup>[26]</sup>,旱生草本以及灌丛生长较多,乔木稀少,耐干旱的蒿属、藜科以及禾本科植物花粉成为主要成分。蒿属、藜科和禾本科等广域花粉含量较高,且其植物母体广泛分布于整个流域<sup>[25]</sup>,因此,在讨论风力和河流对孢粉的搬运能力时,首先要排除掉两者对广域花粉的搬运作用。

黑河中游表土孢粉结果显示,以RS1(莺落峡附近)为起点,SS1距起点的距离约70 km,SS7距起点距离130 km,经过长距离搬运,黑河中游风力搬运的外来孢粉含量保持在10%以下,SS3外来孢粉含量最高为10.2%,SS7外来孢粉含量最低为2.6%,整体呈下降趋势,由此可见,黑河中游风力搬运孢粉的能力较强。李文漪<sup>[28]</sup>在风力传播云杉

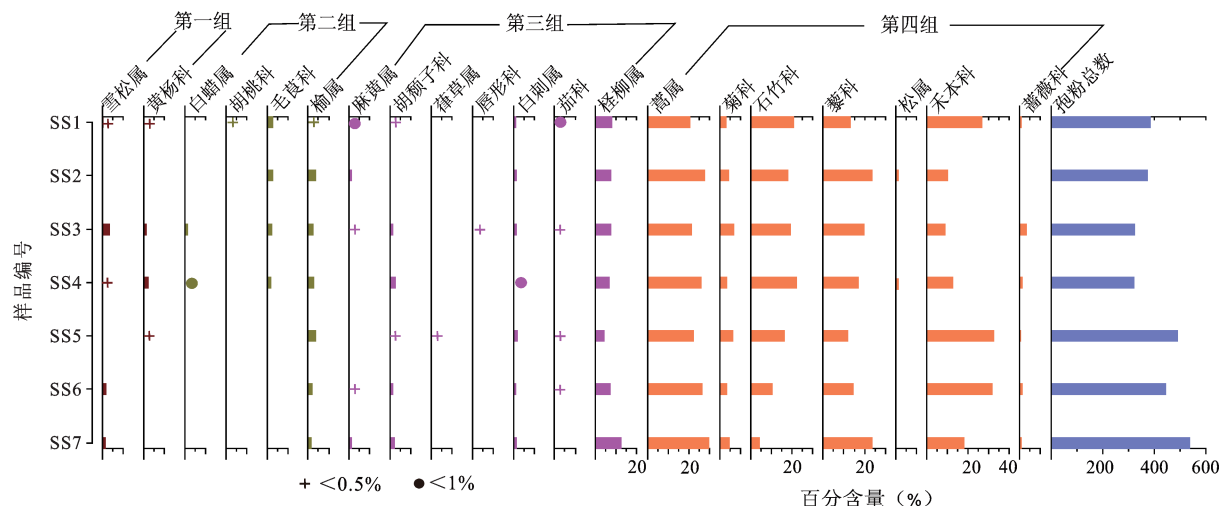


图3 表土样品孢粉百分含量图谱

Fig.3 Pollen diagram of surface soil samples with percentages

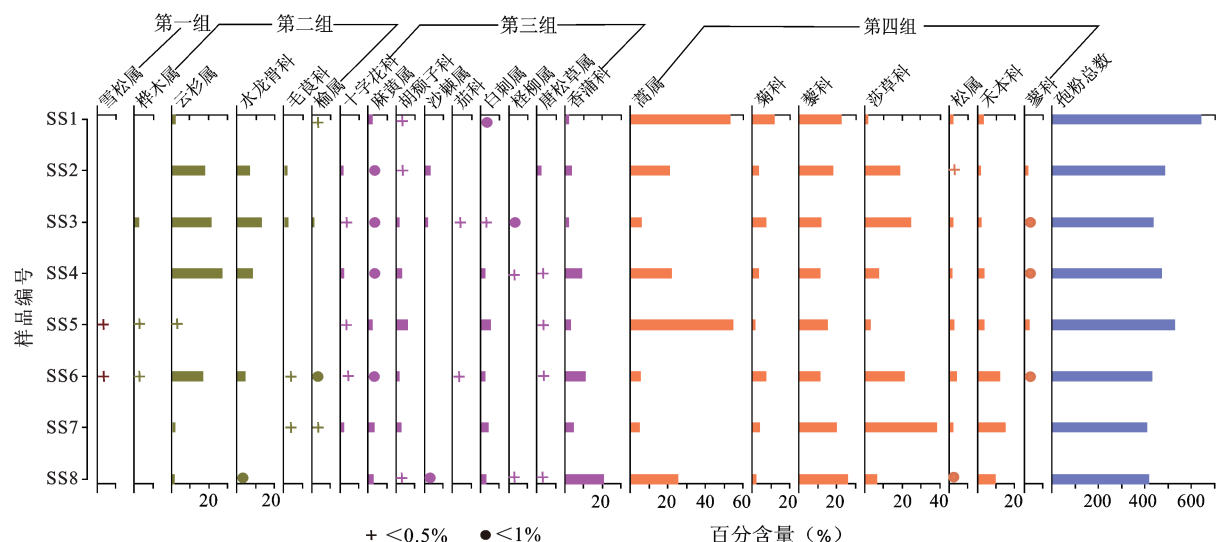


图4 河流沉积物样品孢粉百分含量图谱

Fig.4 Pollen diagram of river sediment samples with percentages

属花粉的实验显示,在离开云杉林 500 m 以外,云杉属花粉含量降至 1%;扎克林斯卡娅和费多洛娃在研究松属花粉的散播效率时,在松林区以外的采样点,松属花粉含量迅速降低,均认为风力传播孢粉的能力有限<sup>[29]</sup>。石羊河流域现代孢粉传播过程研究结果显示,距森林下限 75 km 的表土样品中第二组山地孢粉含量为 13.6%,110 km 处表土样品中第二组山地孢粉含量为 5.3%,风力搬运的孢粉量很小,且随着距离的增加而不断减弱,孢粉谱指示样点当地植被特征<sup>[25]</sup>。黑河中游风力搬运孢粉的结果与石羊河流域现代孢粉传播过程研究结果

一致,榆属、毛茛科等第二组山地孢粉,经过长距离的风力搬运,各科属含量均比较低,第二组山地孢粉并不影响表土样品孢粉谱与采样点周围植被的对应关系,孢粉谱能够较好地代表采样点周围植被。

黑河中游河流沉积物孢粉结果显示,第二组来自上游山地森林植被的孢粉含量呈跳跃式变化,与其中云杉属花粉含量变化大致相同,两者的百分含量并没有随着距离的增大而呈现降低趋势,分析原因可能有以下 2 点:1)依据“补偿递减”规律,其他科属花粉含量的激增可能会导致云杉

属花粉含量的突变,如蒿属花粉含量在RS1和RS5中快速增加至50%以上以及莎草科花粉含量在RS7中激增到37%,影响了云杉属花粉含量的变化;2)根据Brush等的水槽试验证明,河水携带孢粉的能力较强,河水携带的花粉只有在静水或缓流条件下才能沉积,在河流流速较慢或者断流的河段,云杉属花粉迅速沉降,百分含量明显上升<sup>[30]</sup>。同一河流在不同部位的河流动力作用不一样,在断流或者水量充沛的条件下表现尤为明显,因此认为外来孢粉百分含量的剧变可能与河流水动力条件相关。陶明华<sup>[31]</sup>等也同样认为,对于具有一定规模的水域而言,水域内不同地点所经受的风力和流水动力影响是不同的,动力作用不可能均匀地影响着整个湖盆的每一个部分。在经过距起点RS1约150 km的搬运过程,河流搬运的外来孢粉含量最高达40%左右,且来自上游森林植被带的云杉属花粉在0.6%~27.3%之间波动,含量很高,由此可见,河床沉积物孢粉记录由于受到大量外来孢粉的干扰,孢粉组合是外来孢粉和当地孢粉的混合。朱艳<sup>[25]</sup>等在石羊河现代孢粉传播过程研究的结果显示,在距森林下限75 km和110 km的采样点中,河床冲积物中的云杉属花粉含量分别为49.5%和37.1%,Wu等<sup>[10]</sup>在探究云杉属花粉在河流搬运过程中的超代表性时发现,在距离森林下限180 km的位置,云杉属花粉的百分含量为7%,以上研究均表明河流具有很强的搬运能力,与黑河中游研究结果一致。而且,黑河中游河流搬运的外来孢粉含量,明显高于风力搬运的外来孢粉含量,认为黑河中游河流搬运孢粉的能力大于风力。因此,在黑河中游河流对孢粉的搬运能力大于风力,河流可以远距离大量地将外来孢粉搬运至研究区。

综上所述,干旱区风力搬运孢粉的能力较强,但风力所搬运的外来孢粉不影响孢粉图谱的解读,而河水搬运孢粉的能力大于风力,能够将来自上游山地植被的孢粉大量地长距离地搬运至研究区,并成为干旱区孢粉谱的重要成分。而两者对孢粉搬运能力的差异性造成了表土样品和河流沉积样品中各组分含量的差异性,这种现象在利用孢粉记录准确恢复植被进行古环境重建方面具有重要的意义。

## 5 结论

通过对黑河中游地区8个河流沉积物样品和7

个表土样品的孢粉分析表明,黑河中游风力搬运孢粉的能力较强,但其所携带的外来孢粉对孢粉组合的影响较小,其含量一般低于10%,因此,表土孢粉组合能够较好的反映研究区现代植被的分布情况;河流搬运孢粉的能力大于风力,能够将上游山地植被孢粉大量的搬运至研究区,并成为孢粉谱的重要成分,外来孢粉含量最高达39.4%,河流沉积样品孢粉组合反映的是上游山地植被和采样点周围植被混合状况。

致谢:许青海教授对本研究野外采样工作给予了指导,刘佳博士在室内鉴定工作提供了帮助和指导,特此感谢。

## 参考文献(References):

- [1] 杨振京,徐建明. 孢粉—植被—气候关系研究进展[J]. 植物生态学报, 2002, 26(增刊): 73-81. [Yang Zhenjing, Xu Jianming. Advances in study on relationship among pollen, vegetation and climate. *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, 26(supplementary issue): 73-81.]
- [2] 王开发,徐肇. 第四纪孢粉学[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 1988, 34-38. [Wang Kaifa, Xu Xin. *Quaternary Palynology*. Guiyang: Gui Zhou People's Publishing, 1988, 34-38.]
- [3] 吴玉书,孙湘君. 昆明西山林下表土中花粉与植被间的数量关系[J]. 植物学报, 1987, 29: 204-211. [Wu Yushu, Sun Xiangjun. A preliminary study on the relationship between the pollen percentages in forest surface samples and surrounding vegetation on west mountain of Kunming, Yunnan. *Acta Botanica Sinica*, 1987, 29: 204-211.]
- [4] 许青海,阳小兰,杨振京. 河北滦河流域冲积物花粉与植被关系的研究[J]. 古地理学报, 2004, 6: 69-77. [Xu Qinghai, Yang Xiaolan, Yang Zhenjing. Relationship between pollen assemblages and vegetation in alluvial sediments of Luanhe River Basin. *Journal of Palaeogeography*, 2004, 6: 69-77.]
- [5] 许青海,杨振京,阳小兰,等. 滦河流域及周边地区花粉与植被关系的研究[J]. 植物生态学报, 2005, 29(3): 444-456. [Xu Qinghai, Yang Zhenjing, Yang Xiaolan et al. Vegetation in the Luanhe River Basin and surrounding areas. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(3): 444-456.]
- [6] 许青海,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[J]. 自然科学进展, 2006, 16(6): 647-656. [Xu Qinghai, Li Yuecong, Li Yu et al. Research about modern pollen progress and Quaternary environments. *Progress in Natural Science*, 2006, 16(6): 647-656.]
- [7] Chen Fahu, Cheng Bo, Zhao Yan, Zhu Yan. Holocene environmental change inferred from a high-resolution pollen record, Lake Zhuyeze, arid China [J]. *The Holocene*, 2006, 16(5): 675-684.
- [8] Zhao Yan, Yu Zicheng, Chen Fahu et al. Holocene vegetation



- and climate history at Hurleg Lake in the Qaidam Basin, north-west China [J]. *Science Direct*, 2007, 145(3):275-288.
- [9] 陶士臣, 安成邦, 陈发虎, 等. 新疆托勒库勒湖孢粉记录的 4.2ka BP 气候事件[J]. *古生物学报*, 2013, 52(2): 234-242. [Tao Shichen, An Chengbang, Chen Fahu et al. An abrupt climatic event around 4.2 ka BP documented by fossil pollen of Tulekule Lake in the eastern Xinjiang Uyghur Autonomous region. *Acta Palaeontologica Sinica*, 2013, 52(2): 234-242.]
- [10] Wu Fuli, Fang Xiaomin, An Congrong et al. Over-representation of *Picea* pollen induced by water transport in arid regions [J]. *Quaternary International*, 2013, 1-7.
- [11] 程波, 朱艳, 陈发虎, 等. 石羊河流域表土孢粉与植被的关系[J]. *冰川冻土*, 2004, 26(1): 81-88. [Cheng Bo, Zhu Yan, Chen Fahu et al. Relationship between the surface pollen and vegetation in Shiyang River Drainage, Northwest China. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2004, 26(1): 81-88.]
- [12] 冯兆东, 陈发虎, 张虎才, 等. 末次冰期一间冰期蒙古高原与黄土高原对全球变化的重要贡献[J]. *中国沙漠*, 2000, 20(2): 171-177. [Feng Zhaodong, Chen Fahu, Zhang Hucai et al. Contribution to global change of Mongolian Plateau and Loess Plateau in the Last Glaciation and Interglacial Periods. *Journal of Desert Research*, 2000, 20(2): 171-177.]
- [13] 李新, 刘绍民, 马国明, 等. 黑河流域生态—水文过程综合遥感观测联合实验总体设计[J]. *地球科学进展*, 2012, 27(5): 481-498. [Li Xin, Liu Shaomin, Ma Guoming et al. Hiwater: An integrated remote sensing experiment on hydrological and ecological processes in the Heihe River Basin. *Advances In Earth Science*, 2012, 27(5): 481-498.]
- [14] 王钧, 蒙古军. 黑河流域近 60 年来径流量变化及影响因素[J]. *地理科学*, 2008, 28(1): 83-88. [Wang Jun, Meng Jijun. Characteristics and tendencies of annual runoff variations in the Heihe River Basin during the past 60 years. *Scientia Geographica Sinica*, 2008, 28(1): 83-88.]
- [15] 王根绪, 王建, 任彦卿. 近 10 年来黑河流域生态环境变化特征分析[J]. *地理科学*, 2002, 22(5): 527-534. [Wang Genxu, Wang Jian, Wu Yanqing. Features of eco-environmental changes in Heihe River Basin over recent 10 years. *Scientia Geographica Sinica*, 2002, 22(5): 527-534.]
- [16] 黄小忠, 陈雪梅, 陈春珠, 等. 西北干旱区黑河上中游地区不同海拔高度农田表土花粉组合特征[J]. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2011, 47(2): 14-23. [Huang Xiaozhong, Chen Xue-mei, Chen Chunzhu et al. Surface pollen assemblage characters of farmland from different altitudes in upper and middle reaches of the Heihe River, arid north-western China. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)*, 2011, 47(2): 14-23.]
- [17] 申建梅, 张光辉, 聂振龙, 等. 西北内陆高台盐池孢粉组合与古气候变化[J]. *中国生态农业学报*, 2008, 16(2): 323-326. [Shen Jianmei, Zhang Guanghui, Nie Zhenlong et al. Characteristics of spore-pollen and ancient climate changes in inland of Northwest China. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2008, 16(2): 323-326.]
- [18] 齐乌云, 远藤邦彦, 穆桂金, 等. 黑河尾间湖泊附近表层样品的孢粉分析及其环境指示意义[J]. *水土保持研究*, 2003, 10(4): 58-63. [Qi Wuyun, Kunihiko Endo, Mu Guijin et al. Spore-pollen analysis of samples from surface soil in vicinity of lakes, at the end of Heihe River and their environmental indications. *Research of Soil and Water Conservation*, 2003, 10(4): 58-63.]
- [19] 杨永民, 冯兆东, 周剑. 基于 SEBS 模型的黑河流域蒸散发[J]. *兰州大学学报: 自然科学版*, 2008, 44(5): 1-6. [Yang Yongmin, Feng Zhaodong, Zhou Jian. Evapotranspiration in Heihe River Basin based on SEBS model. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)*, 2008, 44(5): 1-6.]
- [20] 黄大桑. 甘肃植被[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1997, 163-176. [Huang Dasang. *Gansu Vegetation*. Lanzhou: Gansu Science and Technology Press, 1997, 163-176.]
- [21] k.Faegri, J. Iversen. Textbook of pollen analysis (IV Edition) [M]. John Wiley & Sons Press, 1989, 1-328.
- [22] 王伏雄, 钱南芬, 张玉龙, 等. 中国植物花粉形态(第二版) [M]. 北京: 科学出版社, 1995. [Wang Fuxiong, Qian Nanfen, Zhang Yulong et al. *Sporopollen morphology of plants in China (the second)*. Beijing: Science Press, 1995.]
- [23] 席以珍, 宁建长. 中国干旱半干旱地区花粉形态研究[J]. *玉山植物报*, 1994, 11: 119-191. [Xi Yizhen, Ning Jianchang. Study on sporopollen morphology in arid and semi-arid land, China. *Yushania*, 1994, 11: 119-191.]
- [24] Aharon Horowitz. Palynology of arid lands [M]. Elsevier Science Publisher, Amsterdam: 1992, 1-530.
- [25] 朱艳, 程波, 陈发虎, 等. 石羊河流域现代孢粉传播研究[J]. *科学通报*, 2004, 49(1): 15-21. [Zhu Yan, Cheng Bo, Chen Fahu et al. Pollen transport in the Shiyang River drainage, arid China. *Science Press*, 2004, 49(1): 15-21.]
- [26] 吴征镒. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1995. [Wu Zhengyi. *Vegetation of China*. Beijing: Science Press, 1995.]
- [27] 程国栋. 黑河流域水-生态-经济系统综合管理研究[M]. 北京: 科学出版社, 2009. [Cheng Guodong. *Comprehensive management research of water-ecology-economy systems in Heihe River Basin*. Beijing: Science Press, 2009.]
- [28] 李文漪. 云杉花粉散播效率问题[J]. *植物学报*, 1991, 33(10): 792 - 800. [Li Wenyi. On dispersal efficiency of *Picea* pollen. *Acta Botanica Sinica*, 1991, 33(10): 792-800.]
- [29] 王开发, 王宪曾. 孢粉学概论[M]. 北京: 北京大学出版社. 1983. [Wang Kaifa, Wang Xianzeng. *Theory of pollen analysis*. Beijing: Peking University Press, 1983.]
- [30] Grace S, Brush, Lucien M et al. Transport of pollen in a sediment-laden channel; a laboratory study [J]. *American Journal of Science*, 1972, 272(4): 359-381.
- [31] 陶明华, 吴健平, 王宏霞. 孢粉组合特征与沉积环境(C). 中国古生物学会孢粉学分会第八届二次学术年会. 2011. [Tao Minghua, Wu Jianping, Wang Hongxia. Characteristics of pollen assemblages and sedimental environment. *Palynological Society of China*, 2011.]

## Modern Pollen Transportation Process in the Middle Reach of the Heihe River

Chang Jing, Hui Zhengchuang, Geng Haopeng, Hu Xiaofei, Pan Baotian

(*Key Laboratory of Western China's Environmental Systems, Ministry of Education, College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, Gansu, China*)

**Abstract:** Modern pollen assemblages in the arid regions and consequently the fossil ones, considerably differ from the modern vegetation and palaeo-vegetation caused by various dispersal agents, depending on the sampled location and the geographical conditions. Fluvial flow and wind are the main agents to influence the pollen transportation in the arid regions. Exotic pollen carried by these two dispersal agents could interrupt the relationship between the pollen and vegetation. Therefore, the influences of these two dispersal agents on the pollen transportation must be taken into account as reconstructing the palaeo-vegetation and the palaeo-environment via fossil pollen data. Moreover, a distinction should be made between the local pollen, which indicate the conditions around the sapling sites; and the exotic pollen, that rather represent far away vegetation, together with the energy and possibilities of the dispersal agents. To do this, we collected 8 riverbed samples and 7 surface soil samples for pollen analysis across the middle reach of Heihe River, located in the Hexi Corridor. The results showed that wind affects the pollen transportation relatively weak, percentages of exotic pollen transported by wind are usually under 10%. The surface soil pollen assemblages can reflect the distribution of local vegetation. While fluvial flow could carry more pollen from the upland to the study area and strongly affect the pollen transportation. Notably, the percentages of exotic pollen transported by fluvial flow reach up to 39.4%, and exotic pollen becomes the dominance of the pollen assemblages, leading an inaccurate relationship between the pollen assemblages and the local vegetation. The pollen assemblages of fluvial sediments mirror the distribution of upland vegetation and local vegetation.

**Key words:** modern pollen transport; arid regions; middle reach of Heihe River; fluvial transportation; wind carrying