

现代尘暴和非尘暴天气大气 花粉特征及其环境意义 ——以北京地区为例

王赞红, 许清海

(河北师范大学资源与环境科学学院, 石家庄 050016)

摘要: 通过 2001~2003 年取得的尘暴和非尘暴天气大气花粉的对比研究, 发现两类天气条件下大气花粉组合虽都以北京地区木本植物花粉为主, 但尘暴天气样品中草本植物花粉数量有较多增加。根据尘暴活动和北京地区物候分析, 推测这些草本植物花粉来自尘暴源区和路径区的表土沉积。基于上述认识, 进一步对风成黄土古土壤层的花粉进行探讨, 认为古土壤中草本植物花粉和木本植物花粉是同期沉积的, 其木本植物花粉数量比较少可能是尘暴降尘导致草本植物花粉数增多所致。通过现代尘暴、非尘暴天气大气花粉特征的研究, 对正确认识过去风成黄土和古土壤层中以草本植物花粉为主的孢粉组合特征提出了新的思路。

关键词: 北京; 尘暴; 非尘暴; 大气花粉; 古土壤; 草本植物; 木本植物

文章编号: 1000-0585(2006)02-0262-06

花粉组合是现代植被环境特征和古沉积环境判别的有效指标^[1,2]。但由于花粉本身性质、搬运介质和沉积环境等因素影响, 依据孢粉谱分析推演气候环境变化有一定不确定性。风力是花粉搬运的主要动力之一, 大气花粉研究近年来得到深入发展^[3]。作为过去风成沉积物的黄土堆积蕴涵着 22 Ma 来气候环境变化信息^[4], 通过孢粉记录已经获得黄土高原 0.1Ma 来^[5]、1.5Ma 来^[6]较高时间分辨率的古环境信息。但是, 风成黄土中花粉来源较为复杂^[7], 依据地层花粉组合推断过去气候环境条件可得出不同结果。对黄土高原的研究表明, 末次间冰期以来古土壤层花粉组合以草本植物占优势^[5,6], 全新世 S_0 中更是突出^[8], 地层中虽出现了较多松属、云杉属、冷杉属、栎属、朴属等木本植物花粉, 但花粉数量少, 木本植物花粉总量不超过 10%^[9]; 而古土壤发育程度却认为达到淋溶褐土^[10]或森林—草原型土壤^[11]。黄土高原外围地带的风成黄土中也有类似情形。北京西山黄土中的古土壤层 (S_0 、 S_1) 以草本植物花粉占绝对优势, 达 70%~90%, 土壤发育则为褐土^[12]。上述研究结果似乎表明花粉组合揭示的气候状况比古土壤发育特征反映的偏干冷。刘东生等^[13]认为黄土区中大量蒿属花粉与木本花粉共存的现象可能与黄土塬面附近山地或沟谷中的森林植被有关。陈云等^[14]对关中黑垆土冷干型草本植物和暖湿型木本植物花粉共存现象的解释为全新世气候快速颤动。唐克丽等^[15]认为古土壤中的干草原型花粉代表古土壤发育之前的黄土沉积特征, 暖湿型木本植物花粉则代表古土壤发育时的环境背景。但对于木本植物花粉数量偏少的矛盾, 唐克丽等认为有待于从花粉保存和检测方法方

收稿日期: 2005-07-16; 修订日期: 2005-12-17

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40571166); 河北省自然科学基金资助项目 (D2005000176)

作者简介: 王赞红 (1967-), 女, 吉林省长春市人, 副教授, 博士。研究方向为大气颗粒物与环境变迁。

面进一步探讨^[15]。

上述观点仅考虑了黄土沉积区环境，未涉及花粉的风尘搬运过程，不能全面解释草本植物花粉与木本植物花粉共存问题。风成黄土地层中花粉问题需借助大气花粉搬运与沉积机制加以讨论。分子化石研究表明黄土有机质由外源成分和本地成分构成^[16]。尘暴是风尘沉积外源成分的主要搬运力。尘暴和非尘暴气流状况对花粉搬运沉积应有不同的影响。黄土古土壤发育期对应间冰期，气候环境与现代接近。现代气候环境条件下的大气花粉沉积状况有助于重现古土壤发育过程的某些特征。本文研究现代气候环境条件下，尘暴、非尘暴天气花粉搬运沉积特征，并尝试探讨黄土古土壤花粉组合的可能成因。

1 研究区域与方法：

研究区选择域应为尘暴活动影响地带。黄土高原是风成沉积典型地区，但在现代气候环境条件下会被作为东部地区尘暴的源区或路径之一^[17]，降尘机制较为复杂。而北京位于东亚尘暴传输路径，直接接受尘暴降尘；同时北京地区分布着华北晚更新世风成堆积——马兰黄土典型剖面，表明其风尘堆积过程的地质连续性，因而是进行现代尘暴降尘研究的较好地区。

北京地区大气花粉研究开展较早，宋之琛^[18]和张金谈^[19]曾对北京西郊空气花粉进行了1~2年观察，结果认为花粉种类受本地植被类型影响，大气花粉组合可以反映本地植被特征。但宋之琛研究结果显示一年中北京空气花粉以草本植物居多，占总数的80%以上；张金谈的分析则认为木本植物花粉居多。他们的研究都未分析尘暴天气对花粉种类数量的影响，而研究期间（20世纪50~60年代）正是北京地区尘暴天气多发期^[20]，尘暴影响可能是造成其花粉组合差异的原因之一。此后一些研究进一步确定了北京地区大气花粉的时空变化规律^[21,22]，即一年中北京大气花粉数量在春季（3~4月）和夏秋季（8~9月）分别达到峰值，春季花粉以木本植物为主，夏秋季则以草本植物为主。这些研究也未涉及尘暴、非尘暴天气大气花粉特征。

为讨论尘暴、非尘暴天气条件下大气花粉特征，选择北京城区西北部上风向地带。采样点设在北京大学逸夫贰楼楼顶平台，距地面高度为22米。取样时间为2001~2003年每年春季尘暴活动频繁时段。分别于尘暴天气和非尘暴天气下取样。采用过滤法和沉降法^[23]搜集大气花粉样品。过滤法利用Cour风标花粉仪采得花粉纱网样品4组，代表非尘暴天气状况，同时采集了尘暴天气下的自然降尘样品1组；沉降法用花粉粘片获取样品4组，代表尘暴天气状况。所有样品采集时期及编号见表1。纱网样品和降尘散样样品经酸碱处理去除有机质，于显微镜下观察统计，粘片样品直接于镜下观察统计。

表1 北京大学大气花粉样品采集状况

Tab. 1 Pollen collection condition in Peking University

编号	非尘暴天气样品	编号	尘暴天气样品
ND1	纱网 1	D1	粘片 1
ND2	纱网 2	D2	粘片 2
ND3	纱网 3	D3	粘片 3
ND4	纱网 4	D4	粘片 4
		D5	降尘散样
	采集期 2003 年 3 月 21 日至 4 月 17 日每周采集一次共 4 次，天气状况为晴		2001 年 3 月 22 日尘暴、扬沙
			2001 年 4 月 7 日浮尘
			2001 年 6 月 6 日浮尘
			2002 年 3 月 20 日尘暴
			2002 年 2~3 月尘暴降尘

2 结果分析

2.1 大气花粉总体特征

花粉统计结果见图 1。结果显示,春季大气花粉种类包括木本植物和草本植物。木本植物花粉有 26 种,主要为榆(*Ulmus*)、杨(*Populus*)、松(*Pinus*)、朴(*Celtis*)、柳(*Salix*)等;草本植物花粉有 31 种,主要为:蒿(*Artemisia*)、藜科(*Chenopodiaceae*)、毛茛科(*Ranunculaceae*)等。木本植物花粉检出量平均为 134 粒,草本植物花粉检出量较少,平均为 64 粒。据北京物候^[24]和以往研究^[18,19,21,22],北京地区每年 11 月至次年 2 月大气中花粉数量极少,主要以杨、柳和侧柏为主。3 月份榆树花粉数量大增,至 5 月份桦、槭、栎、胡桃和松等花粉含量达到峰值,出现春季木本植物花粉含量高峰。6 月份草本植物花粉含量开始增多,至 8、9 月份达到草本植物花粉含量峰值。本研究时段为北京地区春季大气花粉数量由少至多且以木本植物花粉为主的时期,样品中木本植物花粉反映了北京地区植物花期状况;样品中数量较少的草本植物花粉应来自先期沉积的表土。

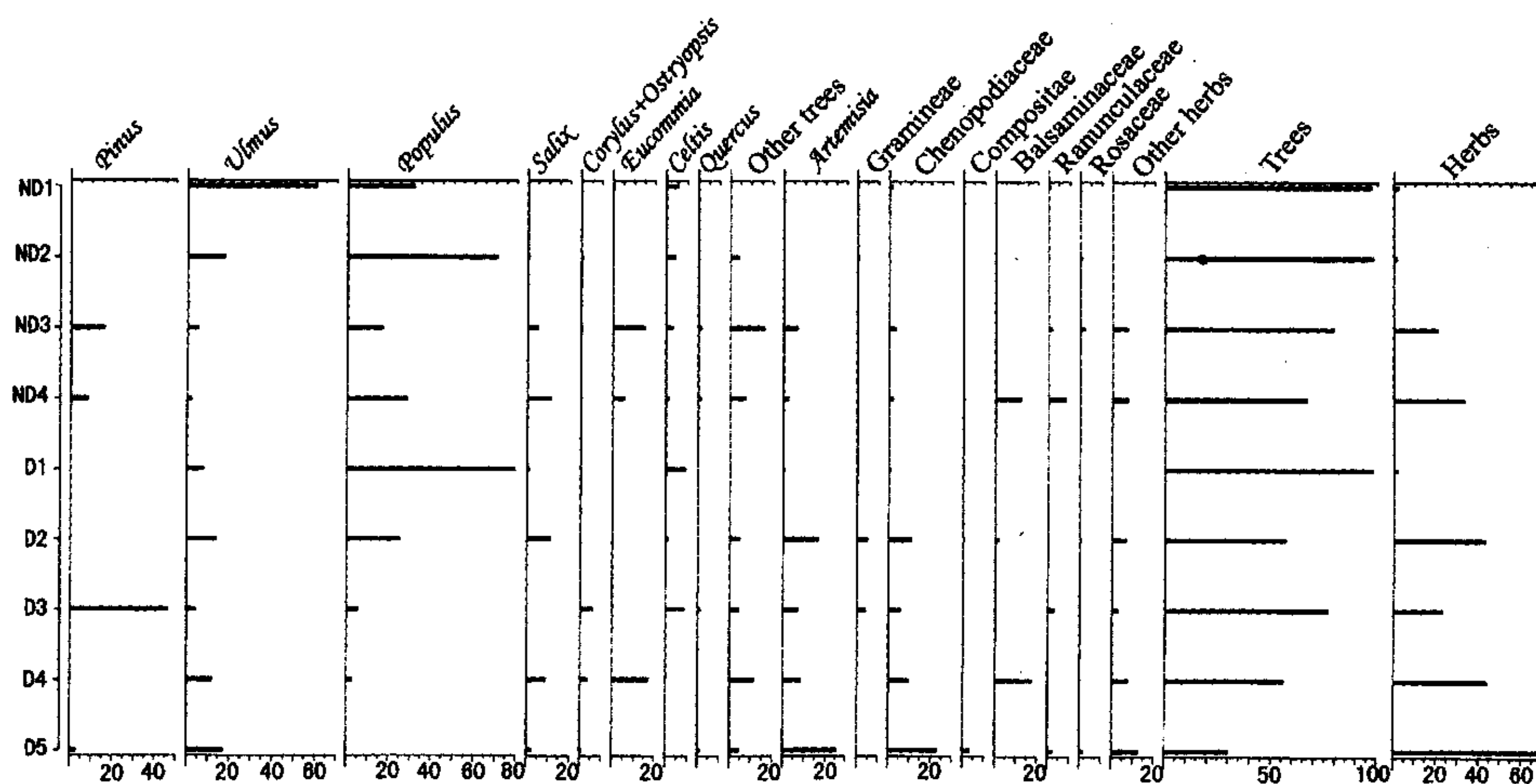


图 1 北京大学尘暴、非尘暴样品大气花粉百分比图式

Fig. 1 Pollen percentages diagram of samples derived from duststorms and non-duststorms in Peking University

2.2 尘暴天气与非尘暴天气大气花粉特征的差异

分别统计北京大学尘暴和非尘暴天气条件下大气花粉中木本植物和草本植物花粉数量,发现它们存在一定差异,统计结果见表 2。

从表 2 可见,非尘暴样品花粉检出数量平均为 247 粒,尘暴样品花粉检出量略少,平均为 210 粒。两类样品虽都以木本植物花粉数量占优势,但非尘暴样品中草本植物花粉数量较少,平均占花粉总量的 14%,这部分草本花粉应来自北京本地先前的表土沉积;尘暴样品中草本植物花粉数量比例有较大提高,平均占花粉总量的 37%,D5 (2002 年 2~3 月强尘暴降尘样品) 中草本植物花粉数量比高达 70%。草本植物花粉以蒿属和藜科最多,非尘暴样品中总共仅鉴定出 21 粒蒿和 17 粒藜科花粉,ND1 和 ND2 样品中未见蒿的花粉,其他草本植物花粉数量也十分稀少;尘暴样品中蒿和藜科花粉数量则分别增多到 139 粒和 116 粒,禾本科花粉也明显增多,并出现了非尘暴样品中未见的沙棘、麻黄、菊科等旱生环境草本植物花粉,这些仅在尘暴样品中出现的草本花粉数量占尘暴草本花粉总量的

表 2 尘暴与非尘暴天气大气花粉种类和数量

Tab. 2 Pollen types and amounts of samples derived from duststorms and non-duststorms

花粉种类	数量	木本植物花粉		草本植物花粉	
		花粉数(粒)	百分比	花粉数(粒)	百分比
非尘暴样品	ND1	243	97%	6	3%
	ND2	233	99%	4	1%
	ND3	153	79%	40	21%
	ND4	214	69%	105	44%
尘暴样品	D1	199	98%	4	2%
	D2	180	56%	136	44%
	D3	53	76%	16	24%
	D4	134	56%	105	44%
	D5	68	30%	156	70%

析,影响北京地区的尘暴源地为蒙古国中南部、内蒙古边境地区及中西部干旱地带。尘暴通常沿北路和西北路移动至北京地区^[25],北京往北、往西方向地区都为尘暴活动可能路径。据起尘通量模式计算,强尘暴最大垂直起尘中心位于西北沙漠和荒漠地区,次为东部的农牧交错带^[26]。这些地区为干草原和荒漠草原,覆盖旱生、盐生植被,2~5月份植物花粉稀少,风力搬运的主要是表土沉积的草本植物花粉,如蒿、藜科等。本研究中尘暴样品 D2 和 D4 分别采集于 2001 年 4 月 7 日和 2002 年 3 月 20 日的两次典型强尘暴天气过程,路径均为西北向^[26,27],D2 尘暴源地比 D1 的更偏西。D2 和 D4 样品中草本植物花粉比都为 44%,但 D2 样品中草本植物花粉粒数量明显高于 D4,D2 中蒿和藜科花粉数量是 D4 的 2 倍,并且含有较多禾本科和蕨草花粉,而 D4 中则未见。更偏远的源地和更长的路径可能使尘暴气流携带更多的表土花粉,因而使 D2 和 D4 样品草本植物花粉种类数量有所差异。

非尘暴样品 ND4 中草本植物花粉含量也较高,但主要以观赏类植物花粉为主,可能受西部北京植物园影响,如毛茛科和凤仙花科花粉多达 76%,蒿和藜科植物花粉仅占 18%,而蒿和藜科在 D2 和 D4 尘暴样品草本植物花粉总数中分别占到 63%和 44%,可见尘暴和非尘暴样品的差别。尘暴样品 D1 中木本植物花粉百分比较高,与其他尘暴样品不同。据海淀气象台测报天气状况为尘暴和扬沙,扬沙天气多是风力吹扬本地沙尘颗粒物所致,可能是造成 D1 木本花粉数量多的原因。

2.3 基于现代大气花粉特征对古土壤花粉组合的讨论

上述表明,现代气候环境下北京地区表土沉积物中可同期沉积木本植物花粉和草本植物花粉,虽然其自然植被以木本植物种类为主,古土壤地层中木本植物花粉和草本植物花粉也应是同期沉积的,而不一定是先期与后期的关系。黄土堆积过程中风积作用始终连续^[28],即使在古土壤发育时期粉尘加积过程仍未间断,只是强度有很大减缓。从现代过程的观测推断,无尘暴活动影响时,古土壤沉积物花粉以当地木本植物种类为主,尘暴活动袭来时,带来部分源区和路径的草本植物花粉,使其沉积物中草本植物花粉数量增多。

至于黄土古土壤中木本植物花粉数量少于草本植物花粉的问题,可从现代大气降尘量分析加以探讨。笔者曾于 2001 年 3 月 15 日~6 月 27 日在北京大学进行不同天气条件下大气降尘量的连续观测^[29]。在这 15 周内,有尘暴发生的一周内降尘量高达 $100 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,浮尘发生的一周内降尘量为 $20 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,而正常晴朗天气条件下周降尘量只有 $5 \sim 10 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,

13.6%。上述花粉种类代表典型草原和荒漠草原植被特征。据此推断,北京地区尘暴样品中的草本植物花粉除有本地表土沉积来源之外,还应包含来自外源成分的贡献,即尘暴源地和路径区域的花粉经尘暴搬运参与了沉积区花粉组合。按本次研究数据,一次尘暴过程带来的源区和路径表土草本花粉平均可使北京地区草本花粉数量比增加 20%或更多。相应地,尘暴气流还可带走本地空气中的木本植物花粉,也使本地木本植物花粉比例减少。

进一步从尘暴活动源区和路径来分

即尘暴天气降尘量是非尘暴天气降尘量的 10~20 倍。从环境监测数据看,北京地区每年 1~5 月大气降尘量占全年总量的 70% 多,这个时段也正值尘暴活动频繁期。中国北方大气沉降量普遍受尘暴活动影响,有的地方一两次尘暴带来的降尘量甚至能达到全年总量的 80%^[30]。如前所述,尘暴活动中风力搬运更多的草本植物花粉,全年大气沉积物中草本植物花粉数量随降尘量增大而增多。黄土古土壤发育期尘暴活动强度和频度若与现代的相似,其表土沉积物中草本植物花粉数量会由尘暴风尘加积作用而有所增多。

3 结论

通过不同天气条件下的大气花粉样品分析,认为尘暴和非尘暴活动是两类不同的风力搬运花粉过程,对北京地区而言,非尘暴大气中花粉以木本植物为主,代表了本地植被环境状况;尘暴大气中草本植物花粉数量明显增多,反映受尘暴传输源区和路径地表沉积物的影响。现代气候环境条件下,北京地区大气沉降量以尘暴降尘为主,其花粉组合中草本植物花粉数量也随之增多。风成黄土古土壤发育与现代气候环境条件相似,其地层中草本植物花粉较多、木本植物花粉较少的现象也可能是受当时尘暴活动的影响所致。这一现象对正确认识过去风成黄土和古土壤层中以草本植物花粉为主的孢粉组合特征提出了新的思路。

参考文献:

- [1] Webb R S, Anderson K H, Webb III T. Pollen response-surface estimates of late-Quaternary changes in the moisture balance of the northeastern United States. *Quaternary Research*, 1993, 40: 213~227.
- [2] 许清海,李月丛,阳小兰,等. 北方草原区主要群落类型表土花粉分析. *地理研究*, 2005, 24(3): 394~402.
- [3] Prentice I C, Cramer W, Harrison S P. A global biome model based on plant physiology and dominance, soil properties and climate. *Journal of Biogeography*, 1992, 19(2): 117~134.
- [4] Guo Z T, Ruddiman W F, Hao Z, *et al.* Onset of Asian desertification by 22 Myr ago inferred from loess deposits in China. *Nature*, 2002, 416: 159~163.
- [5] Sun X J, Song C Q, Wang F Y, *et al.* Vegetation history of the Loess Plateau of China during the last 100 000 years based on pollen data. *Quaternary International*, 1997, 37: 25~36.
- [6] 吴福莉,方小敏,等. 黄土高原中部 1.5Ma 以来古生态环境演化的孢粉记录. *科学通报*, 2004, 49(1): 99~105.
- [7] Kukla G. Loess stratigraphy in China. *Quaternary Science Review*, 1987, 6: 191~219.
- [8] 吕厚远,刘东生,郭正堂. 黄土高原地质、历史时期古植被研究状况. *科学通报*, 2003, 48(1): 2~7.
- [9] 唐克丽,贺秀斌. 黄土高原全新世黄土—古土壤演替及气候演变的再研讨. *第四纪研究*, 2004, 24(2): 129~140.
- [10] 庞奖励,黄春长,陈宝群. 黄土高原南部全新世土壤微结构形成机理探讨. *地理研究*, 2002, 21(4): 487~494.
- [11] 郭正堂,刘东生,安芷生. 渭南黄土沉积中十五万年的古土壤及其形成时的古环境. *第四纪研究*, 1994, (3): 256~269.
- [12] 陈焕伟. 从古土壤看北京环境变迁. *土壤学报*, 2000, 37(3): 306~315.
- [13] 刘东生,郭正堂,吴乃琴,等. 史前黄土高原的自然植被景观—森林还是草原? *地球学报*, 1994, (3—4): 226~234.
- [14] 陈云,李铮华,赵景波,等. 全新世高温期气候不稳定性记录. *海洋地质与第四纪地质*, 1999, 19(3): 97~103.
- [15] 唐克丽,贺秀彬. 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] 谢树成,王志远,王红梅,等. 末次间冰期以来黄土高原的草原植被景观:来自分子化石的证据. *中国科学(D) 辑*, 2002, (1): 28~35.
- [17] 曲绍厚,李玉英,周明煜,等. 北京地区一次尘暴过程的来源. *环境科学学报*, 1984, 4(1): 80~85.
- [18] 宋之琛. 北京西郊空气中的孢粉组合. *中国第四纪研究*, 1959, 2: 69~74.
- [19] 张金谈. 北京西郊空气中的花粉. *植物学报*, 1964, 12(3): 282~285.
- [20] 吕新苗,刘惠清,王文杰,等. 北京周边地区沙尘暴时空分布特征及其环境背景. *地理研究*, 2004, 23(1): 38~44.
- [21] 何海娟,张德山,乔秉善. 北京城区空气中花粉含量与气象要素的关系初探. *中华微生物学和免疫学杂志*,

- 2004, 21(增刊): 31~33.
- [22] 张姝丽, 张德山, 何海娟. 北京城区花粉数量天气条件分析. 气象科技, 2003, 31(16): 406~408.
- [23] Mullins J, Emberlin J. Sampling pollens. Journal of Aerosol Science, 1997, 28(3): 365~370.
- [24] 徐雨晴, 陆佩玲, 于强. 近 50 年北京树木物候对气候变化的响应. 地理研究, 2005, 24(3): 412~420.
- [25] 张志刚, 陈万隆. 影响北京沙尘源地的气候特征与北京沙尘天气分析. 环境科学研究, 2003, 16(2): 6~9.
- [26] 赵琳娜, 孙建华, 赵思雄. 2002 年 3 月 20 日沙尘暴天气的影响系统、起沙和输送的数值模拟. 干旱区资源与环境, 2004, 18(1): 72~80.
- [27] 康凤琴, 李耀辉, 吕世华. 2001 年 4 月 8 日强沙尘暴天气的数值模拟研究. 中国沙漠, 2003, 23(6): 681~685.
- [28] 郭正堂, 刘东生, 安芷生. 间冰期降尘与黄土中的加积型古土壤. 见: 龚子同主编, 土壤环境变化. 北京: 中国科学技术出版社, 1992: 25~30.
- [29] 王赞红. 斋堂马兰黄土堆积与现代大气降尘对比研究. 北京大学博士研究生毕业论文, 2003. 52.
- [30] 刘东生, 孙继敏, 吴文祥. 中国黄土研究的历史、现状和未来——一次事实与事故相结合的讨论. 第四纪研究, 2001, 21(3): 185~207.

Air pollen assemblage characteristics derived from duststorms and non-duststorms and its significance

WANG Zan-hong, XU Qing-hai

(College of Resources and Environment Sciences, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050016, China)

Abstract: Pollen assemblage characteristics which have been used to reconstruct paleoenvironment are taken as an important agent based on modern climate conditions for plants growth. It is particularly so in the loess research. Nevertheless, there are still some problems in deducing paleoclimate by the pollen assemblage discovered in paleosols, which were supposed to have developed under relatively warm and wet climate conditions, thus containing more pollens of trees than of herbs, but it is reverse actually. The best way to probe into such a question period is to observe the process of pedogenesis which was presumed to happen in the interglacial period with the similar climate conditions of today. What happened on the soil surface today might be the same as that in the interglacial period. Therefore this research takes air pollen samples in Beijing under different weather conditions of duststorms and non-duststorms in spring to discuss the pollen assemblage characteristics. The results show that both samples derived from duststorms and non-duststorms contain pollens of trees and herbs, in the majority of trees, representing modern sedimentary environment. Samples of duststorms contain more herbs pollens than samples of non-duststorms, which is argued by the authors to be transported from the source and pathway of storms. Further on, based on the analyses of the amount of dustfall annually, this paper concludes that more pollens of herbs have been transported and deposited under duststorm weather conditions than pollens of trees under non-duststorm weather conditions, which possibly is partial reason for the presence of pollens assemblage in paleosols. Though limit to the samples number this paper's view needs more proof, a new thought-way on pollen research of eolian sediments still has been put forward.

Key words: pollen; Beijing; duststorms and non-duststorms; trees; herbs