

# 软质与硬质地表对树木花粉日飘散变化的影响

郅光发<sup>1</sup>, 杨颖<sup>1</sup>, 王成<sup>1,\*</sup>, 牟少华<sup>2</sup>

(1. 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091; 2. 国际竹藤网络中心, 北京 100102)

**摘要:**以油松(*Pinus tabulaeformis*)、白玉兰(*Magnolia denudata*)、白皮松(*Pinus bungeana*)、臭椿(*Ailanthus altissima*)为被试树种, 对比研究了春季静风晴朗天气中软质与硬质两种地表条件下不同树种在距树 10 m 高度 1.5 m 处花粉浓度的日变化特征。研究表明:(1)4 个树种在相同地表环境的花粉浓度日变化趋势基本一致, 但同一树种花粉浓度的日变化特征在软、硬两种地表条件下的差异明显。软质地面一天内空气中花粉浓度最大值出现 14:00 时前后, 04:00 时花粉浓度最低, 这与全天内空气温度的变化正好一致, 而与空气相对湿度的变化恰好相反。硬质地表近地空间空气中的花粉浓度则呈现“双峰型”日变化特征, 两次峰值分别出现在 14:00 时和 20:00 时, 硬质地面花粉浓度 20:00 时晚高峰的出现时间与硬质地面温度日峰值一致。(2)分析硬质地表 20:00 时花粉浓度高峰出现的原因可能与硬质地面的散热特性有关, 硬质地面夜间释放积蓄热量的过程会在一定程度上增强近地面空气的对流运动, 并辅助空气中的花粉粒子不断飘散, 形成花粉浓度晚高峰。(3)相对于软质地面来讲, 硬质地表对空气中花粉飘散的影响作用持续时间更长, 这也在一定程度上延长了致敏花粉的危害时间, 加剧了致敏花粉的污染程度。研究还进一步在花粉致敏树种栽植、地表覆盖方式等方面进行了讨论; 同时建议花粉症患者根据花粉污染发生规律合理规划避开花粉浓度聚集高峰期出行, 从而有效缓解致敏花粉对易感人群的健康威胁。

**关键词:**花粉浓度; 日变化; 软质地表; 硬质地表

## The influence of urban surface condition on diurnal variation of tree pollen dispersal

QIE Guangfa<sup>1</sup>, YANG Ying<sup>1</sup>, WANG Cheng<sup>1,\*</sup>, MU Shaohua<sup>2</sup>

1 Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

2 International Center for Bamboo and Rattan, Beijing 100102, China

**Abstract:** Influence of land surfaces on the pollen dispersal under urban environment is rarely investigated. We measured pollen concentration dispersed from four commonly used urban tree species (*Pinus tabulaeformis*, *Magnolia denudata*, *Pinus bungeana* and *Ailanthus altissima*) on two spring windless sunny days in 2006 in Beijing. The pollen concentration and microclimate measurements were conducted in the locations 10m away from the sampling trees at 1.5m above the ground. Our objectives were to contrast the impact of grass covered (Soft) and paved (Hard) surfaces on the diurnal variations of pollen disposal. Our research indicated that: (1) Diurnal variations of pollen dispersal among four species had similar tendency in same urban surface condition. But the same tree species showed distinctive diurnal variations under different surface conditions (soft and hard). Under soft ground, diurnal variation of tree pollen had one peak presented at 14:00pm while the lowest pollen concentration was at 04:00am. That was positively correlated with air temperature but had negative correlations with relative humidity. The diurnal patterns of tree pollen showed clear variation with high peaks at around 14:00pm and 20:00pm and low values around 04:00am and 18:00pm under hard ground. And the peak of pollen concentration appeared at 20:00pm was consistent with the peak of ground temperature in hard ground. Overall, the pollen concentration during the day was significantly higher than at night while the pollen concentration under hard ground was

**基金项目:**国家“十一五”科技支撑计划重大项目(2006BAD03A06); 科技部科研院所社会公益研究专项(2004D1B1J031)

**收稿日期:**2010-01-08; **修订日期:**2010-04-27

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangcheng@forestry.ac.cn

significantly higher than under soft ground during the night. (2) Peak pollen concentration at 20:00pm under hard ground could be attributable to the thermal dynamics of the ground. Heat trapped by hard ground during the daytime was released at night, causing the convection movement of air near the ground and promoting tree pollen release into the atmosphere. Consequently, the pollen concentration peak happened at night. (3) Pollen dispersal during the daytime was not significantly affected by different surface conditions. However, the surface impacts on the pollen dispersal were observed during the night. Comparing with soft ground, hard ground showed greater and longer influence on pollen dispersing in the air. That made the pollen concentration remained at high concentration level for several hours in the near ground air after the sunset. This phenomenon will lead to the extended time of allergenic pollen dispersal and aggravated pollen pollution. Therefore, urban forest tree species selection and urban surface mulching were recommended to avoid possible pollen pollution for urban dwellers, and most importantly for those pollen allergy-prone citizens. In addition, we recommended that the hay fever patients should avoid their outdoor activities and sports during the time when the pollen concentration is high. This would lead to lower the risks of allergenic pollen threats to their health.

**Key Words:** pollen concentration; diurnal variation; soft ground; hard ground

花粉是空气中的一类有机粒子,同时也是一种过敏变应原,当花粉浓度集聚到一定程度便可诱发敏感人群发生过敏反应,使过敏患者出现打喷嚏、流鼻涕、流眼泪、眼睛红肿、皮肤奇痒等症状,甚至引发支气管炎、哮喘等疾病<sup>[1-2]</sup>。花粉浓度作为评判空气质量优劣的敏感指标,近年来受到了许多研究者的关注。但从目前的研究来看,国内外对空气中花粉浓度变化的研究主要集中在季节性花粉浓度变化<sup>[3-11]</sup>和大气空间花粉环境质量<sup>[12-17]</sup>等方面,而针对近地空间(本文指距地面 2 m 高的空间范围)空气中花粉浓度变化特征的研究甚少。近地空间是人类频繁活动的生命空间,此区间内的大气花粉浓度的变化对人体健康所造成的影响最为直接。研究近地空间大气花粉浓度的变化特征,弄清人类频繁活动的生命空间中花粉浓度的变化规律,可以对花粉发生危害进行先期预判,为易感人群规避致敏花粉发生高峰期提供科学依据,从而减少花粉过敏症对人体健康所造成的危害。

本文以近地空间花粉致敏最适高度(即人呼吸高度)处花粉浓度的变化特征为研究出发点,探讨了北京城区 4 个主要树种花粉浓度的日变化特征,比较了不同地表条件下近地空间空气花粉浓度的消长变化规律,分析了软、硬两种不同地表对近地空间花粉飘散的影响。

## 1 研究区概况

本研究选择北京陶然亭公园、北京林业大学和北京明城墙遗址公园为试验样地,3 个样地内被试树种生长相对集中,且周边开敞空间较大,距离周围开花植物较远,试验条件较理想。北京属温带大陆性季风气候,年平均气温 11℃,年平均降水量 630mm,多年平均风速 2.4m/s,植物生长期为 220d,无霜期 180d。北京林业大学(Plot I)校园面积 45hm<sup>2</sup>,绿化覆盖率为 44.7%,主要绿化树种有银杏(*Ginkgo biloba*)、悬铃木(*Platanus acerifolia*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、白玉兰(*Magnolia denudata*)、槐树(*Sophora japonica*)等,试验样点位于北林生物楼前(I<sub>1</sub>)。陶然亭公园(Plot II)是以燕京名胜陶然亭为中心规划设计修建的一座城市园林,占地 56.6hm<sup>2</sup>,其中水面 16.1hm<sup>2</sup>,主要绿化树种有油松、白皮松(*Pinus bungeana*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)等,试验样点位于东门空地(II<sub>1</sub>)和高君宇烈士公墓处(II<sub>2</sub>)。明城墙遗址公园(Plot III)位于市中心地域,占地 15.5hm<sup>2</sup>,绿地面积 12.2hm<sup>2</sup>,主要绿化树种有臭椿(*Ailanthus altissima*)、香椿(*Toona sinensis*)、槐树等,试验样点位于公园墩台处(III<sub>1</sub>)。

## 2 研究方法

### 2.1 试验树种与采样时间

选择白玉兰、油松、白皮松、臭椿为试验树种(表 1)。4 个树种均为北京市常见栽植树种,花粉量较大,易于收集。白玉兰、臭椿分别代表了北京早春、晚春开花树种;油松和白皮松花期处于春季中期,且油松的开花

盛期、末期与白皮松的开花初期、盛期重叠,为减少相互干扰,方便镜检,本研究分别选择油松开花初期、白皮松开花末期为其花粉采集时间。选择植物种类较单一、距离周围开花植物较远、受周边环境干扰较少的样地进行采样。研究区软质地表(S)均为草坪,硬质地表(H)均为水泥地面。除白玉兰周边无硬化地表外,其余试验树种周边 30 m 半径范围内均有面积较大的软质地表和硬质地表,且两种地表在树木两侧均呈半圆型分布,可以同时满足两种地表条件下试验采样要求。

表 1 树种概况与采样时间  
Table 1 Tree species and sampling date

树种 Specie	试验地点 Sample plots	试验地表类型 Type of ground	采样日期 Sampling date		致敏性 Hypersensitiveness
			第 1 天 1st day	第 2 天 2nd day	
油松 <i>P. tabulaeformis</i>	II <sub>1</sub>	S, H	5 月 13 日	5 月 14 日	弱
白玉兰 <i>M. denudata</i>	I <sub>1</sub>	S	4 月 3 日	4 月 4 日	中度
白皮松 <i>P. bungeana</i>	II <sub>2</sub>	S, H	5 月 22 日	5 月 23 日	弱
臭椿 <i>A. altissima</i>	III <sub>1</sub>	S, H	6 月 1 日	6 月 5 日	中度

S 代表软质地表, H 代表硬质地表;致敏性根据叶世泰等《中国气传致敏花粉》确定<sup>[18]</sup>

## 2.2 花粉标样采集方法

于 2006 年 3—6 月在日最大风速小于 2.0 m/s 的晴朗天气选择不同类型地表分别进行采样,选择相似天气(图 4)重复采样 2d,每天为 1 个采样周期,每个采样周期为当日 08:00—次日 06:00,采样间隔 2h。为了更清楚表述 1d 内的花粉变化情况,对观测数据按照 00:00—24:00 时的顺序进行整理分析。每树种采用 3 台 JW1—II C 型撞击式多功能空气微生物监测仪同时采样,且每台仪器在每个采样间隔内连续采样 3 次,监测仪设在距树 10m 处,间距 2m,采样口距地面 1.5m,每样采集时间 3min,采样流量 20L/min,抽样体积 0.06m<sup>3</sup>。监测仪内采样介质为涂抹薄层凡士林的玻璃片,玻璃片厚度 2mm,直径 47mm。采样后在光学显微镜下观察花粉形态、特征、大小以及数量。同时,使用 Humidity Temperature Meter 310 数位温湿度仪、NK5916 风速仪和 TES-1332A 数位式照度仪分别监测当时的空气温度( $T_a$ , °C)、空气相对湿度( $RH$ , %)、地面温度( $T_g$ , °C)、光照强度( $L$ , klx)和风速等。

## 2.3 花粉标样鉴定与计算方法

参照《中国气传花粉和植物彩色图谱》<sup>[19]</sup>和《中国植物花粉形态》<sup>[20]</sup>分辨不同树种花粉以便镜检计数。

采用 Davis 法的基本原理计算花粉浓度<sup>[21]</sup>,其基本原理是取一定量的花粉悬浮液制片(本研究直接用采样仪内玻璃片),在显微镜下随机选择多个等面积计数点,统计花粉粒数和计数点数量,以下式计算花粉浓度:

$$N = A \times \frac{B}{D \cdot E}$$

式中, $N$  为花粉浓度(粒·m<sup>-3</sup>), $A$  为计数点内花粉总个数, $B$  为玻璃片面积(mm<sup>2</sup>), $D$  为计数点面积(mm<sup>2</sup>), $E$  为抽样体积(m<sup>3</sup>)。

## 3 结果与分析

### 3.1 软质地表近地空间树木花粉浓度日变化动态

图 1 表明,油松、白玉兰、白皮松、臭椿在花期内相似天气条件相同地表环境下的花粉浓度日变化特征基本一致,总体都呈“单高峰”变化趋势,花粉浓度最大值出现 14:00 时,最小值出现在 04:00 时。比较图 1 和图 4 可以看出,花粉浓度的变化与环境因子的变化密切相关, $T_a$ 、 $T_g$ 与花粉浓度值变化趋势相同, $RH$ 与花粉浓度值变化则正好相反;虽然  $L$  值变化也呈“单高峰”的趋势,但其峰值却早于花粉浓度峰值 2h 出现。

### 3.2 硬质地表近地空间树木花粉浓度日变化动态

与软质地表不同,油松、白皮松、臭椿 3 个树种树木在硬质地表的花粉日飘散特征均呈“双峰”变化趋势(图 2)。两次花粉浓度峰值分别出现在 14:00 时和 20:00 时;1d 中花粉浓度最低值出现在 04:00 时前后,随

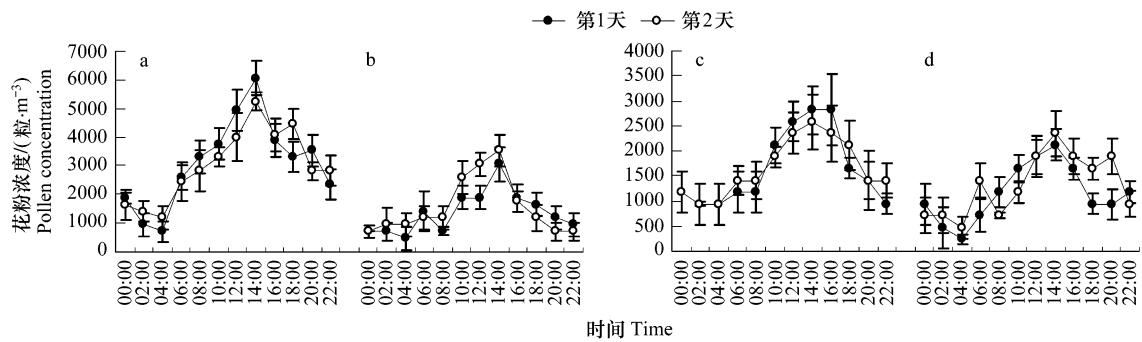


图1 软质地表环境下不同树木花粉浓度日变化

Fig. 1 Diurnal variation on pollen concentration of different tree species in soft ground

a: 油松 *P. tabulaeformis*; b: 白玉兰 *M. denudata*; c: 白皮松 *P. bungeana*; d: 臭椿 *A. altissima*

后花粉浓度不断升高并在 14:00 时达到第 1 高峰;14:00—18:00 时花粉浓度逐渐降低,但从 18:00 时开始花粉浓度又不断升高,并在 20:00 时达到第 2 高峰,随后花粉浓度开始逐渐下降。硬质地面花粉浓度第 1 峰值的出现时间与软质地面相同,并与硬质地面  $T_a$  峰值、RH 谷值的出现时间相同,硬质地表花粉浓度第 2 峰值的出现时间则与  $T_g$  相同(图 2 和图 4)。

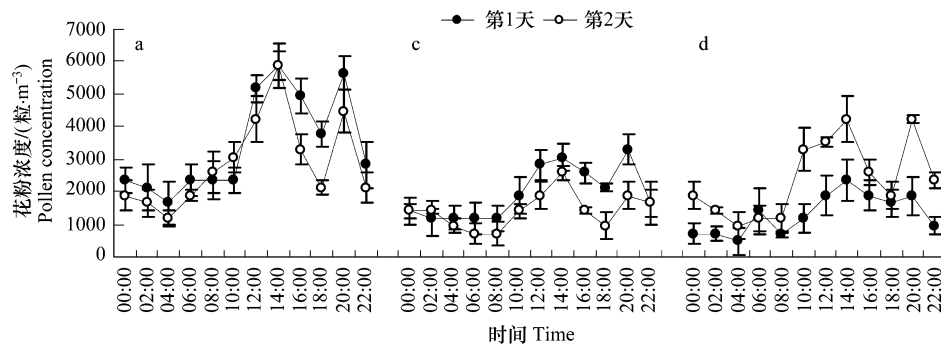


图2 硬质地表环境下不同树木花粉浓度日变化

Fig. 2 Diurnal variation on pollen concentration of different tree species in hard ground

a: 油松 *P. tabulaeformis*; c: 白皮松 *P. bungeana*; d: 臭椿 *A. altissima*

### 3.3 两种地表下树木花粉浓度均值日变化比较

比较不同树种在两种地表条件下 2d 监测结果平均值的变化特征发现(图 3),白天相同时间段内油松、白皮松、臭椿 3 个树种在软、硬两种地表的花粉浓度均值相差不大,而在 20:00 时硬质地表空气中的花粉浓度要显著高于软质地表,随后花粉浓度虽逐渐降低,但从整体上看夜间硬质地表的花粉浓度要略高于软质地表。可以看出,白天时近地空间空气中的花粉日飘散特征在与地表覆盖方式关系不大,但夜间两种地表环境所造成的花粉浓度的飘散变化却存在明显差异,硬化地表对空气中花粉飘散的影响更大,持续作用时间更长。

### 3.4 两种地表主要环境因子日变化的差异比较

图 4 表明,同一树种在两种地表条件下  $T_a$ 、RH、 $L$  的变化趋势基本一致,但硬质地表近地空间中的 RH 值比软质地表略低,白天时的  $T_a$  值比软质地表略高, $L$  值的大小主要受太阳辐射角度和周围遮挡物的影响,虽然其变化趋势一致,但其绝对值差异较大。 $T_g$  在软、硬两种地表条件下的变化趋势差异显著,虽然都呈“单高峰”趋势,但峰值出现时间相差较大;硬质地表  $T_g$  峰值出现时间比软质地表晚 6h 左右,与硬质地表花粉浓度值第 2 高峰出现时间一致。同时,从环境因子的比较还可以看出本研究在相同地表条件下所选择的试验天气基本一致。

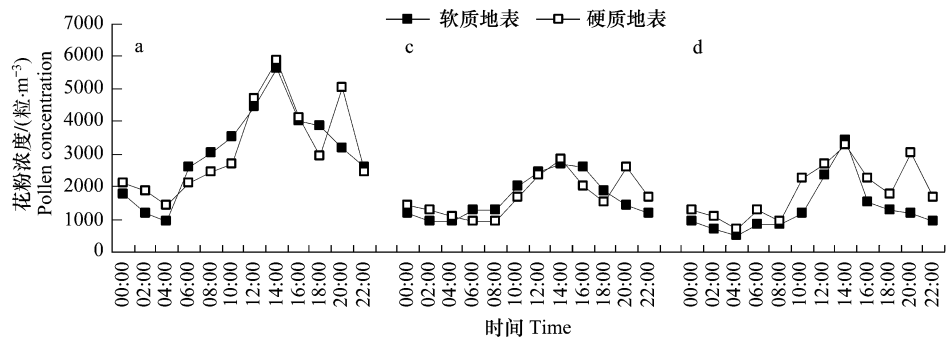


图3 不同地表环境下不同树种花粉浓度均值的日变化比较

Fig. 3 Diurnal variation on average pollen concentration of different tree species in soft and hard ground surface

a: 油松 *P. tabulaeformis*; c: 白皮松 *P. bungeana*; d: 臭椿 *A. altissima*

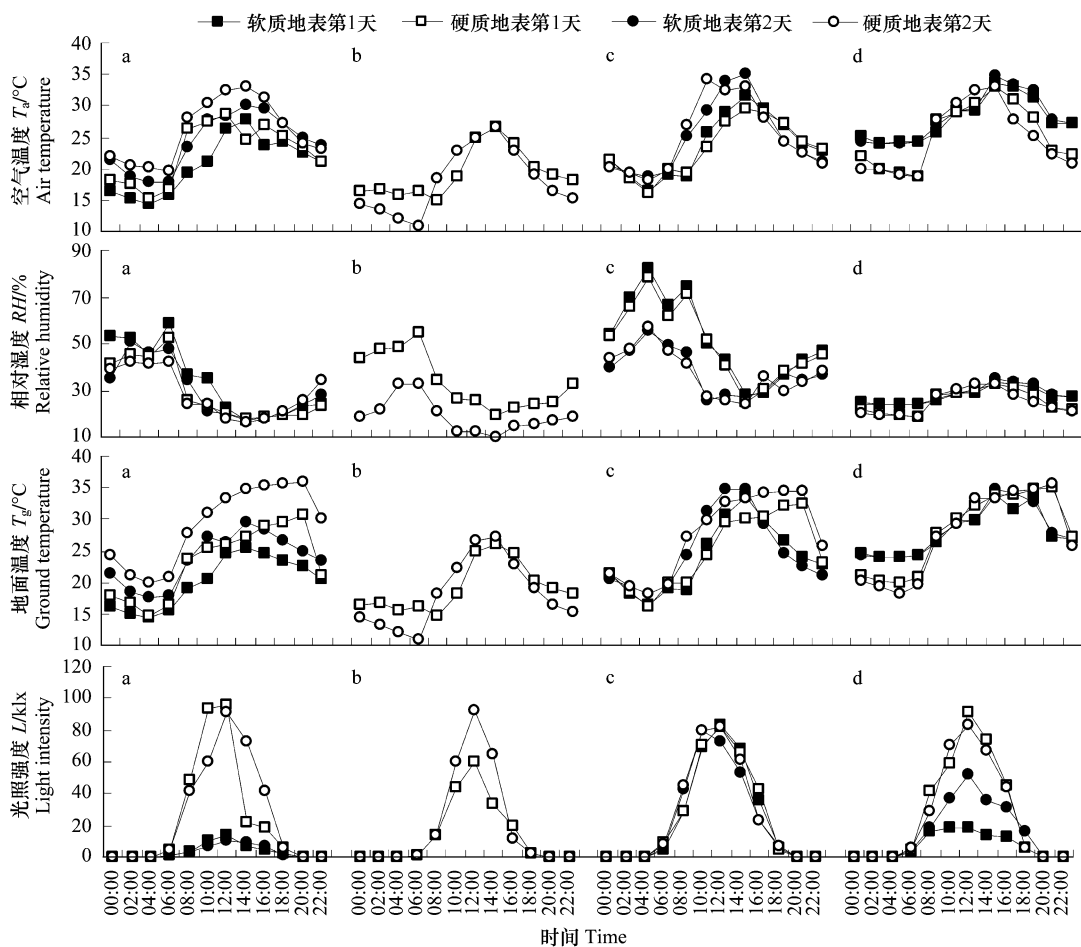


图4 软质地表和硬质地表条件下的环境因子日变化

Fig. 4 Diurnal variation on environment factors of different tree species in soft and hard ground surface

a: 油松 *P. tabulaeformis*; b: 白玉兰 *M. denudata*; c: 白皮松 *P. bungeana*; d: 臭椿 *A. altissima*

#### 4 结论与讨论

从本文的研究结果可见,不同树种树木在相同地表环境的花粉日变化飘散特征基本一致,但相同树木在软、硬两种地面环境的花粉浓度日变化特征却有明显差异。一般情况下,软质地面近地空间空气中花粉浓度呈“单高峰”日变化特征,14:00 时花粉浓度最高,04:00 时最低,这与国内外许多在自然林地(软质地面环境)

进行的研究结果类似,大部分研究认为花粉浓度日变化呈现“单高峰”浓度,花粉浓度最大值出现在 12:00—15:00 时之间<sup>[22-27]</sup>。但也有一些研究结果与本研究相差较大,其花粉浓度日峰值分别比本研究结果早 4—6h<sup>[4, 28-29]</sup>或晚 4h 左右<sup>[30]</sup>。同时,本文对于硬质地表的研究还表明,空气中的花粉浓度除了在 14:00 时前后出现一次浓度高峰外,还会在晚上 20:00 时前后形成第二次浓度高峰,这一结果在国内外还鲜有报道。软、硬两种地表花粉浓度日变化“峰型”差异的原因可能与试验样地的地表环境有较大关系。分析本研究硬质地面 20:00 时花粉浓度高峰出现的主要原因可能与水泥地面的散热特性有关,特别是在春、夏季节,白天灼热的硬质地面会将积蓄的地温在夜间缓慢释放出来,使得近地空间的空气对流运动加剧,花粉粒子也在气流运动的辅助作用下在空气中不断飘散,这在一定程度上改变了近地空间空气中的花粉粒浓度,进而在硬质地面近地空间空气中形成花粉浓度晚高峰。

同时,空气中花粉浓度的变化是众多环境因子综合作用的结果,环境因子可以通过影响植物的开花生理过程和气流运动来调控花粉散发的时间和分布浓度,一般来讲,高温与低湿环境是影响花粉传播的最佳气象因子<sup>[31-36]</sup>。结合环境因子的综合响应过程,可以将花粉浓度的日变化特征进一步表述为:从 08:00 时开始,随着气温上升、湿度降低,光照增强,花粉囊由湿转干逐渐开裂,宜于花粉飘散,致使花粉浓度逐渐上升;14:00 时气温最高、湿度最低,花粉浓度达到最大值。随后,气温逐渐降低,湿度逐渐增加,光照逐渐减弱,花粉浓度也随之降低。18:00 以后,光照逐渐消失,气温下降,软质地面近地空间空气中的花粉浓度逐渐降低,硬质地面花粉浓度则会在积蓄地温对流作用的影响下在 20:00 时前后形成第二次浓度高峰。此后,两种地面近地空间中的花粉浓度都会随着气温的降低,湿度的增大而逐渐降低,凌晨以后,花粉囊逐渐湿润,花粉浓度也随之逐渐降至最低值。04:00 时以后,光照逐渐增强,气温不断回升,植物雄蕊受日光曝晒由湿变干,成熟的花粉囊渐渐开裂,花粉浓度又有所上升。

从上述分析还可以看出,相对于软质地面来讲,硬质地面对空气中花粉飘散的持续影响作用时间更长,进而使近地空间空气中花粉浓度在日落气温降低后仍会在一段时间内保持一个较高的浓度水平,这也在一定程度上延长了致敏花粉的危害时间,加剧了致敏花粉的污染程度。然而,硬化地表做为城市居民日常休憩、锻炼的主要场所,在城市公共绿地中却一直占有较大的面积比重。因此,有必要从花粉防护安全的角度来重新审视公共硬化活动区域的绿化设计。首先,要尽量维持近自然的土地利用方式,尽量减少硬化地表的覆盖面积;第二,在硬化区域周围应尽量避免选用花粉量大、抗原性强和致敏率高的植物,特别是不宜将此类植物栽植于人群活动中心主风向的上风口处;第三,在植物配置模式上,宜建混交林,不宜营造大面积纯林,降低植物开花盛期因花粉浓度高度聚集而引发的空气污染。

同时,根据花粉浓度发生规律,合理规避花粉浓度聚集高峰期出行,也可以有效缓解致敏花粉对易感人群的健康威胁。从本研究的结果来看,中午与傍晚均不适于花粉症人群在广场、道路等地表硬化比重较大的区域活动;而对于硬化地表所占比重不大的绿地来讲,早、晚则是居民外出活动的适宜时间。另外,针对人流量较大的街道、硬化广场等重点区域进行必要的花粉预报也是当前急需开展的一项工作,空气花粉预报对于花粉过敏症预防非常重要。虽然我国的花粉预报工作已逐渐展开,但还缺少空气花粉变化规律的历史记录,只能进行花粉浓度的实报工作和简单的趋势预报<sup>[37]</sup>。因此,有必要通过建立专门的花粉观测站进行长期连续观察,以便为空气花粉预测预报提供详实的数据基础,从而提高预测结果的准确性,为花粉症人群健康生活提供科学指导。

## References:

- [ 1 ] Wang C. Plant-caused pollution in urban forest development. *Chinese Journal of Ecology*, 2003, 22(3): 32-37.
- [ 2 ] Li Q, Jin Y, Hua Z L, Liu J X. Advances in airborne allergenic pollen. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(2): 334-338.
- [ 3 ] Manju S, Swati C. Seasonal variations of airborne pollen in Allahabad, India. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 2008, 15: 287-293.
- [ 4 ] Huang T C, Huang S Y, Hsiao A, Chen S H. Aeropalinological study of Kinmen Island, Taiwan. *Taiwania*, 2008, 53(4): 369-382.

- [ 5 ] Herminia G M, Eugenio D V, Carmen G. Airborne allergenic pollen in natural areas: Homachuelos natural park, Cordoba, southern Spain. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 2007, 14: 63-69.
- [ 6 ] Kaplan A, Sakiyan N, Pinar N M. Daily ambrosia pollen concentration in the air of Ankara, Turkey (1990—1999). *Acta Botanica Sinica*, 2003, 45(12): 1408-1412.
- [ 7 ] Claus G, Hans B, Lars M, Eva R W. Airborne pollen records in Denmark, 1977—1986. *Grana*, 1988, 27 (3): 209-217.
- [ 8 ] Kaplan A. Airborne pollen grains in Zonguldak, Turkey, 2001—2002. *Acta Botanica Sinica*, 2004, 46(6): 668-674.
- [ 9 ] Kaplan A, Sakiyan N, Pinar N M. Daily ambrosia pollen concentration in the air of Ankara, Turkey (1990—1999). *Acta Botanica Sinica*, 2003, 45(12): 1408-1412.
- [ 10 ] Murray M G, Sonaglioni M I, Villamil C B. Annual variation of airborne pollen in the city of Bahia Blanca, Argentina. *Grana*, 2002, 41: 183-189.
- [ 11 ] Shen W Z, Liu X M, Chen G L, Liu H, Zou F F. 10-year change of airborne pollen and vegetation of the urban area of Wuhan. *Journal of Clinical Otorhinolaryngology*, 2006, 20(17): 804-805.
- [ 12 ] Verma K S, Pathak A K. A comparative analysis of forecasting methods for aerobiological studies. *Asian Journal of Experimental Sciences*, 2009, 23 (1): 193-198.
- [ 13 ] Ismuhan P E. Concentrations of airborne pollen grains in Sivrihisar (Eskisehir), Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2008, 138: 81-91.
- [ 14 ] Li J S, Sun R Q, Lu J C, Sun Z H, Hu Q X, Xu X Z, Chen M L. Observation on distribution of the atmosphere pollen in Nanjing. *China Public Health*, 2000, 16(2): 123-125.
- [ 15 ] Du R. Measurement research of pollen aerosols in atmospheric boundary layer of Beijing and around areas. *China Environmental Science*, 2007, 27 (4): 477-481.
- [ 16 ] Chen M X, Jin L S, Sun Z H, Lu J C, Sun R Q, Li Z K. The vertical distribution and diurnal variation law of the bioaerosol concentration in Nanjing city. *China Environmental Science*, 2001, 21(2): 97-100.
- [ 17 ] Zhang S L, Zhang D S, He H J, Mu Q Z. Daily total pollen and allergic pollen forecasting in August in Beijing. *Meteorological Science and Technology*, 2006, 34(6): 724-727.
- [ 18 ] Ye S T, Zhang J T, Qiao B S, Lu Y J. Airborne and Allergenic Pollen Grains in China. Beijing: Science Press, 1998.
- [ 19 ] Qiao B S. China Airborne Pollen and Plant Color Map. Beijing: Peking Union Medical College Press, 2005.
- [ 20 ] Wang F X, Qian N F, Zhang Y L, Yang H Q. Pollen Flora of China. (Second Edition). Beijing: Science Press, 1997.
- [ 21 ] Davis M B, Deevey E S. Pollen accumulation rates; estimates from Late-glacial sediment of Rogers Lake. *Science*. 1964, 145: 1293-1295.
- [ 22 ] Malgorzata L, Agnieszka U, Anna P, Malgorzata G, Anna D. Diurnal patterns of airborne pollen concentration of the selected tree and herb taxa in Gdansk (northern Poland). *Grana*, 2005, 44(3): 192-201.
- [ 23 ] Pérez C F, Gardiol J M, Paez M M. Comparison of diurnal variation of airborne pollen in Mar del Plata (Argentina), 2, Arboreal pollen. *Grana*, 2003, 42: 161-167.
- [ 24 ] Galón C, Tormo R, Cuevas J, Infante F, Domínguez E. Theoretical daily variation patterns of airborne pollen in the south-west of Spain. *Grana*, 1991, 30: 201-209.
- [ 25 ] Kämpylä M. Diurnal variation of tree pollen in the air in Finland. *Grana*, 1984, 23: 167-176.
- [ 26 ] Britt B, Siwert N, Gran B. Diurnal variation of airborne birch pollen at some sites in Sweden. *Grana*, 1995, 34 (4): 251-259.
- [ 27 ] Helena R, Manuela O, Ilda A. Intradiurnal variation of allergenic pollen in the city of Porto (Portugal). *Aerobiologia*, 2008, 24(3): 173-177.
- [ 28 ] Yang Y L, Huang T C, Chen S H. Diurnal variations of airborne pollen and spores in Taipei city, Taiwan. *Taiwania*, 2003, 48(3): 168-179.
- [ 29 ] Rafael T M, Inmaculada S P, Adolfo F M R, Juana T M, Alfonsa M C. Environmental factors affecting airborne pollen concentration in anemophilous species of *Plantago*. *Annals of Botany*, 2001, 87: 1-8.
- [ 30 ] Jane N H, Jean E. Diurnal variation of pollen concentration in the air of north-central London. *Grana*, 1991, 30(1): 229-234.
- [ 31 ] He H J, Zhang D S, Qiao B S. Preliminary approach of the relationship between airborne pollen amount and meteorological factors in Beijing urban area. *Chinese Journal of Microbiology and Immunology*, 2001, 21(4): 31-33.
- [ 32 ] Ana M V, Rosa M V, Delia F G, Roberto F. Urticaceae pollen concentration in the atmosphere of north western Spain. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 2004, 10: 249-255.
- [ 33 ] Nathalie J, Benjamin L, Brigitte D, Xavier F, Laurent H. Variations in maize pollen emission and deposition in relation to microclimate. *Environment Science & Technology*, 2005, 39 (12): 4377-4384.
- [ 34 ] Rodríguez F J, Jato V, Aira M J. Pollen content in the atmosphere of Lugo (NW Spain) with reference to meteorological factors (1999—2001). *Aerobiologia*, 2003, 19(3): 213-225.

- [35] Helena R, Mário C, Ilda A. Airborne pollen concentration in the region of Braga, Portugal, and its relationship with meteorological parameters. *Aerobiologia*, 2003, 19 (1): 23-27.
- [36] Jones A M, Harrison R M. The effects of meteorological factors on atmospheric bioaerosol concentrations — a review. *Science of the Total Environment*, 2004, 326 (1/3): 151-180.
- [37] 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.

#### 参考文献:

- [1] 王成. 城市森林建设中的植源性污染. *生态学杂志*, 2003, 22(3): 32-37.
- [2] 李倩, 靳颖, 华振玲, 刘家熙. 空气致敏花粉污染研究进展. *生态学报*, 2005, 25(2): 334-338.
- [11] 申雯竹, 刘晓明, 陈桂兰, 刘淮, 邹芬芬. 武汉市中心城区气传花粉与绿化植物 10 年变化特点研究. *临床耳鼻咽喉科杂志*, 2006, 20 (17): 804-805.
- [14] 李劲松, 孙润桥, 鹿建春, 孙振海, 胡庆轩, 徐秀芝, 陈梅玲. 南京市大气花粉垂直时空分布的观察. *中国公共卫生*, 2000, 16(2): 123-125.
- [15] 杜睿. 北京及周边地区大气边界层中花粉气溶胶的观测. *中国环境科学*, 2007, 27(4): 477-481.
- [16] 陈铭夏, 金龙山, 孙振海, 鹿建春, 孙润桥, 李宗恺. 南京市生物气溶胶浓度垂直分布和日变化规律. *中国环境科学*, 2001, 21(2): 97-100.
- [17] 张姝丽, 张德山, 何海娟, 穆启占. 北京城区 8 月日花粉总数量和致敏花粉数量短期预报. *气象科技*, 2006, 34(6): 724-727.
- [18] 叶世泰, 张金谈, 乔秉善, 路英杰. *中国气传和致敏花粉*. 北京: 科学出版社, 1998.
- [19] 乔秉善. *中国气传花粉和植物彩色图谱*. 北京: 中国协和医科大学出版社, 2005.
- [20] 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, 1997.
- [31] 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*, 2001, 21(4): 31-33.
- [37] 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.