

· 专题论坛 ·

京津冀地区气传花粉数据分析

赵德鹄^{1,3}, 叶彩华², 王宇飞^{1,3}, 姚轶锋^{1,3*}

¹中国科学院植物研究所, 系统与进化植物学国家重点实验室, 北京 100093

²北京市气象服务中心, 北京 100089; ³中国科学院大学, 北京 100049

摘要 花粉作为城市大气污染物成分之一, 严重影响人类的居住环境和生命健康, 是政府部门和科学界共同关注的热点问题。为此, 该文基于近60年来已发表的京津冀地区气传花粉数据, 总结了该地区主要气传花粉种类及其季节性分布特征, 表明气传花粉浓度的年际变化基本遵循双峰型规律, 即春季高峰以柏科、杨柳科和桦木科等乔木植物花粉为主, 夏秋季高峰以蒿属、蕈草属/大麻(*Cannabis sativa*)以及藜科/苋科等草本植物花粉占优势; 探讨了影响气传花粉浓度的主导气象因子、花粉症发病特点等应当注意的问题; 指出土地改造和行道树种植等人类活动可能对北京地区的气传花粉组成变化产生影响。最后, 文中强调未来气传花粉的长期监测在大气环境评估、花粉过敏防治和城市绿化建设等方面具有重要作用。

关键词 京津冀地区, 气传花粉, 环境评估, 花粉过敏症, 人居环境

赵德鹄, 叶彩华, 王宇飞, 姚轶锋 (2021). 京津冀地区气传花粉数据分析. 植物学报 56, 751–760.

花粉是裸子植物和被子植物繁衍后代的雄性繁殖器官, 具有产量大、传播广和易保存等特点, 在土壤和水质等各类环境介质中无处不在。植物花粉体积小、质量轻, 容易飘散到空气中, 是空气气溶胶重要的有机组成部分。气传花粉又被称为大气花粉, 是大气环境评估的重要指标, 其在空气中的组成、浓度及变化规律往往与一个地区的地理位置、气象条件以及植被组成等因素密切相关(徐景先等, 2009)。

在过去的半个多世纪, 国外学者对气传花粉的研究已经涵盖欧洲、美洲、亚洲及澳大利亚等地, 对于不同国家和地区气传花粉的时空变化规律形成了基本的认识, 不同地区的气传花粉组成和致敏花粉类型差别极大(徐景先等, 2009; 张雨辰等, 2018)。近年来, 对气传花粉日变化与气象条件关系的研究在国外较为热门(江伟明等, 2018)。我国学者也在全国范围内对气传花粉开展了广泛的调查和研究。一方面, 空气中飘散着以风媒花为主的致敏性花粉导致的枯草热(医学诊断为季节性变应性眼鼻炎)在城市盛行(江伟明等, 2018), 严重影响城市居民的健康和生活。因此, 国内许多城市的医疗和环境等相关单位对当地空气

中的致敏花粉进行监测, 并对致敏性气传花粉随季节变化进行实时预报和防治。另一方面, 前人研究发现, 空气中的花粉组合能大致反映当地主要植被类型, 可以利用自然植被环境下的气传花粉组合来探讨现代花粉的空间分布规律与区域植被的关系。这为研究现代花粉传播过程及机制、建立现代花粉-植被-气候的关系模型提供了依据, 从而服务于古植被及古气候的定量重建(杨振京和徐建明, 2002)。

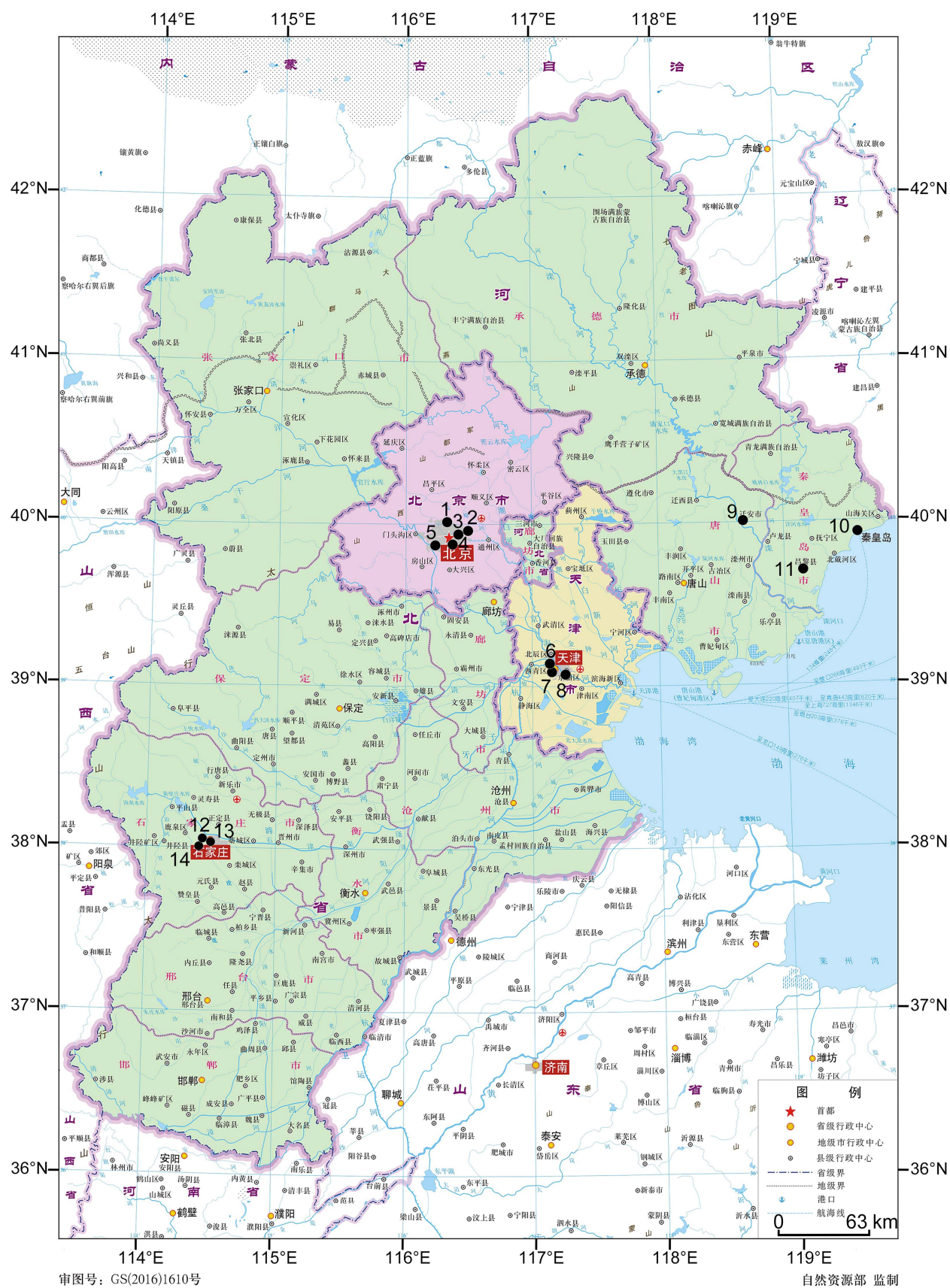
京津冀地区经过近几十年来的建设和发展, 逐渐形成我国北方一个重要的城市群。伴随城市化建设稳步推进, 城市及周边地区的植被状况不同程度地受到人为改造的影响。而周围植被环境的变化同样使得空气中飘散的主要花粉类群及含量处于不断变化之中。前人以北京、天津和石家庄等城市为中心, 在京津冀多地设置监测站点, 对当地气传花粉开展调查研究, 积累了大量文献资料。本文涉及的花粉数据点标注于图1。

本文基于前人对京津冀地区近60年来气传花粉的相关研究工作, 从气传花粉种类及其含量和浓度变化规律、气传花粉浓度对气象要素的响应、对致敏花

收稿日期: 2021-04-14; 接受日期: 2021-08-27

基金项目: 国家重点研发计划(No.2017YFC0803803)和中国科学院项目(No.KGFZD-135-19-10)

* 通讯作者。E-mail: yaoyf@ibcas.ac.cn



←

图1 京津冀地区气传花粉监测点分布(地理底图来自中国地图出版社)

1: 北京海淀区(孟龄等, 2013, 2016; 刘宜纲等, 2019); 2: 北京朝阳区(Xu and Zhang, 2011); 3: 北京东城区(中国气传致敏花粉调查领导小组, 1991; 何海娟等, 2008; 欧阳昱晖等, 2012; 李挚等, 2015); 4: 北京西城区(张金谈, 1964); 5: 北京丰台区(胡伟侃等, 2017); 6: 天津南开区(陈全尽等, 1994); 7: 天津河西区(白玉荣等, 2007b; 刘彬贤和白玉荣, 2007; 段丽瑶等, 2008); 8: 天津和平区(王玉珍等, 1989); 9: 河北省迁安县(许清海等, 2000; 兰海燕等, 2010); 10: 秦皇岛海港区(纪世强, 1988); 11: 秦皇岛昌黎县(中国气传致敏花粉调查领导小组, 1991); 12: 石家庄新华区(王刚生和郭文友, 1988); 13: 石家庄裕华区(张宇晗和李英, 2013; 李英等, 2014); 14: 石家庄桥西区(宗惠军等, 1990)

Figure 1 The distribution of sampling sites of airborne pollen in Beijing-Tianjin-Hebei region (the map is cited from Sino Maps Press)

1: Haidian District, Beijing (Meng et al., 2013, 2016; Liu et al., 2019, in Chinese); 2: Chaoyang District, Beijing (Xu and Zhang, 2011); 3: Dongcheng District, Beijing (Leading Group for National Survey of Airborne and Allergenic Pollen in China, 1991; He et al., 2008; Ouyang et al., 2012; Li et al., 2015, in Chinese); 4: Xicheng District, Beijing (Zhang, 1964, in Chinese); 5: Fengtai District, Beijing (Hu et al., 2017, in Chinese); 6: Nankai District, Tianjin (Chen et al., 1994, in Chinese); 7: Hexi District, Tianjin (Bai et al., 2007b; Liu and Bai, 2007; Duan et al., 2008, in Chinese); 8: Heping District, Tianjin (Wang et al., 1989, in Chinese); 9: Qian'an County, Hebei Province (Xu et al., 2000; Lan et al., 2010, in Chinese); 10: Haigang District, Qinhuangdao (Ji et al., 1988, in Chinese); 11: Changli County, Qinhuangdao (Leading Group for National Survey of Airborne and Allergenic Pollen in China, 1991, in Chinese); 12: Xinhua District, Shijiazhuang (Wang and Guo, 1988, in Chinese); 13: Yuhua District, Shijiazhuang (Zhang and Li, 2013; Li et al., 2014, in Chinese); 14: Qiaoxi District, Shijiazhuang (Zong et al., 1990, in Chinese)

粉的监测和预报等方面进行综述, 提出目前存在的问题和潜在的研究方向, 以期京津冀地区气传花粉监测、大气环境评估、花粉过敏防治以及城市绿化建设提供参考。

1 京津冀地区气传花粉种类、含量和浓度变化规律

我国大多数地区(如东北、华北、华东、中部和华南)气传花粉浓度在一年中出现春季和秋季2个高峰期(张雨辰等, 2018)。京津冀地区气传花粉浓度年际变化也基本遵循双峰型季节性规律(张金谈, 1964; 陈全尽等, 1994; 韩立芬等, 2001; 许清海等, 2005; 孟龄等, 2013; 张宇晗和李英, 2013)。该地区气传花粉浓度第1个高峰期一般出现在3–5月, 主要成分为乔木植物花粉, 如柏科(Cupressaceae)、杨柳科(Salicaceae)、松科(Pinaceae)、桦木科(Betulaceae)和榆属(*Ulmus*); 第2个高峰期一般出现在8–10月, 主要成分为草本植物花粉, 如禾本科(Poaceae)、蒿属(*Artemisia*)、葎草属/大麻(*Humulus/Cannabis sativa*)和藜科/苋科(Chenopodiaceae/Amaranthaceae)(图2; 表1)。此外, 石家庄的气传花粉监测结果表明, 由于以小麦(*Triticum aestivum*)为主的禾本科农作物集中开花, 可能造成个别年份当地草本植物花粉浓度在5月下旬出现1个高峰(张宇晗和李英,

2013)。

受地理环境和气象因素等条件的影响, 不同城市、不同年份花粉高峰期到来的时间略有差异。同一地区在不同年份花粉含量较高的时段也不固定, 花粉浓度峰值出现的时间不尽相同。尤其是自20世纪90年代以来, 随着城市扩张和绿化建设引入外来植物, 植被构成发生了巨大变化, 空气中主要花粉种类及含量也发生了一定程度的改变(程晟等, 2015)。

在北京地区, 1983–1986年夏秋季高峰期的气传花粉总含量高于春季高峰期; 但是自2000年开始的近10年间, 春季乔木植物花粉的含量(指某种/些类群的花粉数量占总花粉量的百分比)逐年增加, 尤其是白蜡树(*Fraxinus chinensis*)和银杏(*Ginkgo biloba*)花粉增幅巨大(何海娟等, 2008), 春季成为全年花粉含量占比更大的季节。何海娟等(2008)推测, 产生这种变化的可能原因是2001年申奥成功后, 北京市政府对城区进行了大面积土地改造和绿化建设。同时发生变化的还有夏秋季气传花粉重要组成——蒿属花粉的浓度(指单位面积/体积内收集到的花粉总颗粒数)下降, 进而影响夏秋季草本植物花粉含量变化, 2005–2007年每年8月花粉总含量显著下降(2005年15 057粒、2006年2 717粒、2007年1 776粒)(Xu and Zhang, 2011)。对比30年前, 2010–2013年北京气传花粉的种类和数量变化则更为明显, 以银杏、悬铃木属(*Platanus*)和柏科等春季开花的乔木植物花粉增长

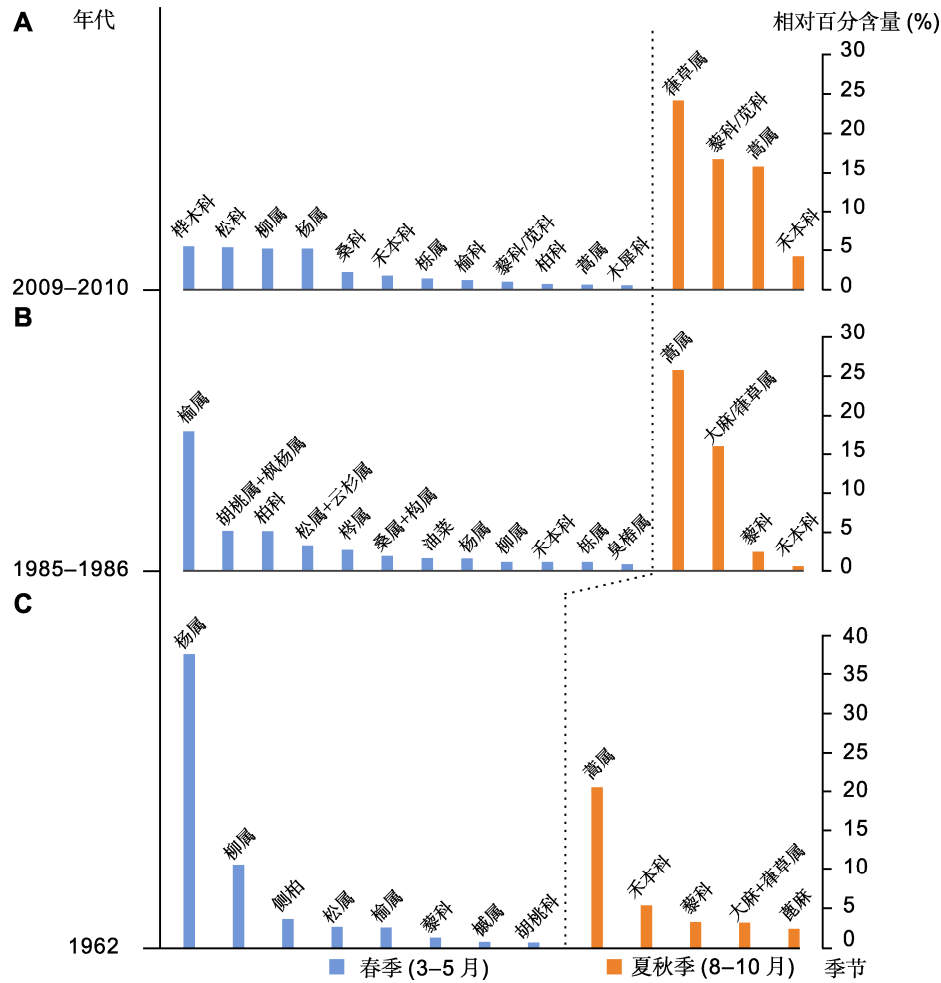


图2 以北京地区为例展示春季和夏秋季气传花粉组成变化(张金谈, 1964; 中国气传致敏花粉调查领导小组, 1991; 郝廷等, 2011) 柱高表示某一类群花粉在春季或夏秋季的花粉量占全年总花粉量的百分比。

Figure 2 Histogram shows the composition changes of airborne pollen in spring and summer-autumn in Beijing (Zhang et al., 1964; Leading Group for National Survey of Airborne and Allergenic Pollen in China, 1991; Hao et al., 2011, in Chinese) The height of the bar represents the percentage of a certain pollen count in spring or summer-autumn to the total pollen count in a year.

为主, 其中柏科植物花粉已取代蒿属成为年均数量最多的花粉成分(李挚等, 2015)。

在天津地区, 1985–2005年间春季高峰期的气传花粉含量多数时间高于夏秋季花粉含量, 尤其是在1994–2005年该地区以藜科和禾本科为代表的夏秋季草本植物花粉数量大幅减少, 夏秋季花粉数量除2004年略有上升, 总体呈下降趋势(刘彬贤和白玉荣, 2007)。作为天津市的市树, 白蜡树花粉始终是当地气传花粉的主要成分(段丽瑶等, 2008; 胡伟倪等, 2017)。此外, 在5月存在1个相对较小的高峰期, 以臭椿(*Ailanthus altissima*)花粉为主(王玉珍等, 1989; 刘

彬贤和白玉荣, 2007)。

河北地区不同城市的植被组成中优势类群不同, 导致气传花粉的种类和分布情况存在差异。石家庄2007–2009年气传花粉组成与20年前相比, 春季主要花粉类型中胡桃属和悬铃木属花粉含量明显增加, 杨属和禾本科花粉含量减少, 柳属和槐属花粉不再是主要花粉类型; 而藜科、蒿属和松属花粉的含量无太大变化(李英等, 2014)。整体上, 20世纪80年代石家庄夏秋季高峰期花粉总含量高于春季, 而20年后春季高峰期花粉总含量更高。而在迁安地区, 1994–1996年对板栗主产区蔡园乡的调查结果(许清海等, 2000)

表1 京津冀地区主要气传花粉类型

Table 1 Main types of airborne pollen in Beijing-Tianjin-Hebei region

地区	年份	春季高峰期时间及主要花粉类型	夏秋季高峰期时间及主要花粉类型	参考文献
北京	1962–1963	3–5月：杨属、柳属、侧柏、松属和榆科	8–10月：蒿属、禾本科、藜科、大麻和蓖麻	张金谈, 1964
	1983–1986	3–4月：柏科、杨属、榆属、桦木属、臭椿属、松属、栲属、柳属、栎属、胡桃属、槐属和桑属	8–9月：蒿属、葎草属、禾本科、藜科/苋科和蓖麻	何海娟等, 2008
	1999–2007	3–4月：栲属、柏科、杨属、桦木属、银杏、榆属、松属、构属、臭椿属、栎属、柳属、本科桑属、槐属、胡桃属和悬铃木属	8–9月：蒿属、葎草属、藜科/苋科和禾本科	何海娟等, 2008; Xu and Zhang, 2011
	2009–2010	4–6月：桦木科、松科、柳属、杨属、桑科、栎属和榆科	8–9月：葎草属、藜科/苋科、蒿属和禾本科	郝廷等, 2011
	2010–2013	3月中旬至4月下旬：柏科、银杏和悬铃木属	7月下旬至9月下旬：蒿属、葎草属和藜科	李挚等, 2015
	2012–2014, 2012–2016	4月初至5月中下旬：柏科、杨属、柳属、松属、桦木属和栲属	8月下旬至9月上旬：藜科、葎草属和菊科	胡伟倪等, 2017; 刘宜纲等, 2019
天津	1985–1986	4–5月：栲属、松属、刺槐属、柏科、榆属、悬铃木属、臭椿属和杨属	8–10月：藜科、禾本科、蒿属、葎草属和蓖麻	王玉珍等, 1989; 陈全尽等, 1994
	1999–2005	3–5月：栲属、杨属、柳属、松属、柏科、槭属、刺槐属和悬铃木属	8–9月：蒿属、葎草属/大麻、藜科、禾本科和豚草属	白玉荣等, 2007b; 刘贤斌和白玉荣, 2007; 段丽瑶等, 2008
石家庄	1985–1987, 1988–1989	3–5月：松属、杨属、柳属、臭椿属、榆属、栎属和栲属	8–9月：蒿属、葎草属/大麻、禾本科、藜科和苋科	王刚生和郭文友, 1988; 宗惠军等, 1990
	2007–2009, 2009–2010	3–5月：杨属、松属、胡桃属、悬铃木属、栎属、栲属和桦木属	8–9月：蒿属、藜科/苋科、葎草属/荨麻科和禾本科	张宇晗和李英, 2013; 李英等, 2014
	秦皇岛	1985–1986	4–6月中旬：紫穗槐属、栎属、栲属、杨属、松科、榆科、刺槐属和柏科	7–9月中旬：蒿属、蓖麻、苍耳属、藜科/苋科和葎草属/大麻
1999		未知	7月下旬至9月中旬：蒿属、豚草属和香蒲属	韩立芬等, 2001
迁安	1994–1996	3–6月：板栗、松属、栎属、桦木属和臭椿属	7–10月：蒿属、禾本科、藜科和荨麻科	许清海等, 2000
	2009–2010	3–5月：松属、柳属、杉木属、柏科和悬铃木属	8–10月：蒿属、葎草属和豚草属	兰海燕等, 2010

显示, 春季主要花粉类型包括板栗、松属、栎属和桦木属; 夏秋季主要花粉类型有蒿属、禾本科和藜科, 夏秋季花粉含量在全年占比略高于春季。而2009–2010年对该地区不同乡镇进行监测, 发现气传花粉组成种类及含量较15年前有明显改变, 除松属及蒿属外, 其余主要花粉类型均不同, 而且松属花粉含量大幅增加, 蒿属花粉含量骤降(兰海燕等, 2010)。

2 气传花粉浓度对气象要素的响应

空气中花粉浓度的变化受多种因素综合影响, 其中气象要素最为多变(中国气传致敏花粉调查领导小组, 1991), 对研究花粉浓度的动态关系具有重要意义。春季和夏秋季花粉高峰期的花粉浓度均受气象要素影响, 但在不同季节影响花粉浓度的主导因子不同。

其中, 春季花粉浓度与气温和日照时数呈正相关(何海娟等, 2001; 刘宜纲等, 2019), 其原因为植物生长发育需要通过热量累积来实现, 进而影响花粉浓度变化。夏季花粉浓度主要受相对湿度和水汽压的影响, 而秋季杂草花粉进入盛期并达到全年峰值。何海娟等(2001)认为, 花粉浓度与平均气温、水汽压和相对湿度关系密切, 与风速和降水量呈负相关; 但是对北京地区2005–2007年8月的花粉监测结果表明, 在天气持续高温且保持较低风速($<1.0\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)的情况下, 秋季花粉数量变化与日照时数呈正相关, 与相对湿度和日降水量呈负相关(Xu and Zhang, 2011)。

在诸多气象因子中, 温度对空气中花粉浓度的影响最为显著。对北京城区气传花粉的研究表明, 月平均气温在4–15℃时, 花粉浓度随温度升高而升高,

在13–15°C时,花粉浓度达到峰值,之后随温度的升高呈下降趋势(何海娟等, 2001; 张姝丽等, 2003)。刘宜纲等(2019)发现,温度对花粉浓度的影响具有一定的滞后性和持续性,气温变化通常与滞后2–7天的花粉浓度相关性较高。花粉高峰期到来的早晚和持续时间也与温度密切相关。如果当年冬春季气候偏暖,则下一年的春季花粉高峰期可能会提前出现;如果冬春季气候偏冷,春季花粉高峰期到来时间将会推迟(白玉荣等, 2002)。

特殊天气频发对花粉浓度也会造成很大影响。王赞红和许清海(2006)的研究表明,北京地区沙尘暴天气的空气花粉中草本植物花粉数量比非沙尘暴天气明显增多,并出现沙棘属、麻黄属和菊科等指示旱生环境的花粉,说明沙尘暴天气较大的风力能长距离异地传输外来花粉,同时沙尘暴频发可能导致全年草本植物花粉数量增多。

花粉浓度的日变化并无固定模式,主要受当天的日照时数、风速及降水强度的影响(段丽瑶等, 2008),而局部环境的小气候因子与花粉浓度变化关系更密切,能较好地解释日变化。例如,在一定高度范围内,气传花粉日平均浓度通常随采样高度的上升呈降低趋势,高度在50 m以上花粉浓度下降更为明显(李劲松等, 2000)。郗光发等(2010a, 2010b)对近地面空间(距地面2 m)的研究表明,硬质地面条件下,花粉浓度变化在一天内出现“双峰”(分别在14:00和20:00),而软质地面只有1个最高峰(在14:00),这可能是由于硬质地面蓄积热量的特点,导致近地面空气对流加强,形成夜间花粉飘散高峰,加剧了城市空气花粉污染,严重影响人类呼吸健康。

3 花粉过敏症相关研究

3.1 致敏花粉的类型

花粉本身具有很强的过敏原性,一些特异性体质人群在吸入气传花粉后会引发呼吸系统急症,即花粉过敏症,该病症具有明显的季节性和区域性(宋岚, 2013)。飘散在空气中的致敏花粉常年影响过敏人群的身体健康。近年来,随着城区土地改造,绿化植被增加,我国城市居民的花粉过敏症发病率呈逐年上升的趋势(李全生等, 2017)。而花粉过敏症的发病情况与空气中致敏花粉的种类和数量关系密切。

根据前人对气传花粉致敏性的相关研究(程晟等, 2015; 李全生等, 2017),按照季节可将主要致敏花粉类型(表2)分为2类。一类是秋季致敏草本植物花粉,京津冀地区秋季共有的致敏花粉以蒿属和葎草属花粉为主(宋岚, 2013),常见致敏花粉类型还有豚草属和藜科等(程晟等, 2015),其中北京地区的豚草(*Ambrosia trifida*)花粉(量少但致敏性强)在近年来经过城市治理后含量显著减少(欧阳昱晖等, 2012)。另一类是春季致敏的木本植物花粉,不同城市春季致敏花粉类型变化较大,除共有的致敏花粉类群,如柏科、杨柳科、松科和悬铃木属外(程晟等, 2015; 王晓艳等, 2017),其余均为当地春季含量较高的花粉类型。例如,白蜡树和桦木属在北京和天津为春季常见致敏花粉类型(王玉珍等, 1989; 申娜等, 2012; 胡伟倪等, 2017)。

3.2 致敏花粉浓度的定性和定量研究

近年来,京津冀地区气传花粉浓度通常在春季高于夏秋季,但春季花粉高峰期持续时间较短,而夏秋季开花的植物(如蒿属和葎草属)传粉时间长达3–4个月(白玉荣等, 2009),其花粉飘散在空气中的时间较长。根据文献(白玉荣等, 2007b; 欧阳昱晖等, 2013; 胡伟倪等, 2017)报道,患者发病时间与同期花粉浓度显著相关。李俊等(2008)对2000–2002年北京地区花粉高峰期内气传花粉浓度与过敏性疾病就医人数进行偏相关分析,结果表明夏秋季气传花粉浓度与花粉过敏症患者数量呈显著正相关,这与欧阳昱晖等(2012)的研究结果一致。对于花粉过敏症就诊患者人数高峰出现在秋季的情况,王晓艳等(2017)认为秋季致敏花粉飘散时间较长往往会导致病情的反复和加重。此外,秋季主要气传花粉的花粉颗粒抗原的致敏性更强(白玉荣等, 2007a)。气传花粉的定性分析与定量分析对于花粉过敏症研究同样重要。黄赐璇等(1999)通过Pierre Cour的定量研究方法,计算不同地区主要致敏花粉在最大传粉期内空气中的浓度和成年人吸入该花粉的重量,依据吸入致敏花粉重量后人体产生不同程度的过敏反应,制定相应的治疗方案。

空气中花粉浓度直接影响花粉过敏症的发病状况(刘彬贤和白玉荣, 2007),对花粉浓度进行评价和分级可直观反映空气致敏花粉造成的危害。白玉荣等(2007a)基于对全国7个区域共29个省市的花粉调查

表2 京津冀地区常见致敏花粉类型

Table 2 Common types of allergenic pollen in Beijing-Tianjin-Hebei region

地区	常见致敏花粉类型	参考文献
北京	强致敏性: 蒿属、葎草属、藜科、豚草属和向日葵属 弱致敏性: 松科、杨属、柳属、柏科、栲属、桦木属和悬铃木属	张金谈, 1964; 何海娟等, 2008; 郝廷等, 2011; Xu and Zhang, 2011; 欧阳显晖等, 2012; 孟龄等, 2013, 2016; 胡伟倪等, 2017
天津	强致敏性: 蒿属、葎草属和藜科 弱致敏性: 禾本科、栲属、桦木属、悬铃木属和柳属	王玉珍等, 1989; 陈全尽等, 1994; 白玉荣等, 2007b; 段丽瑶等, 2008; 申娜等, 2012
石家庄	强致敏性: 蒿属、葎草属和藜科 弱致敏性: 松科、禾本科、杨属、胡桃属、栲属、悬铃木属和栎属	王刚生和郭文友, 1988; 宗惠军等, 1990; 张宇晗和李英, 2013; 李英等, 2014
秦皇岛	强致敏性: 蒿属和豚草属	纪世强, 1988; 韩立芬等, 2001
迁安	强致敏性: 蒿属、葎草属和豚草属 弱致敏性: 松科、柳属、柏科和悬铃木属	兰海燕等, 2010

数据, 考虑到木本和草本植物花粉的致敏性强弱不同, 依据花粉数量建立花粉浓度分级标准, 划分出5个花粉浓度等级(低、较低、中等、较高和高), 等级的高低可基本表征花粉症的发病趋势。李俊等(2008)在对北京市海淀区夏秋季气传花粉浓度与变应性鼻炎就医人次关系的研究中, 尝试应用基准剂量(benchmark dose, BMD)法对气传花粉浓度进行危险度分级, 初步评估人群花粉暴露致敏危险程度。

3.3 致敏花粉浓度预报

鉴于空气质量监测的需求以及花粉过敏人群逐年增多的状况, 北京和天津的气象部门较早就开展了花粉浓度预报服务, 通过花粉浓度预报为花粉过敏疾病防治提供重要参考信息。张姝丽等(2006)依据北京1985–1986年和1997–1998年的旬花粉浓度与同期平均气温和平均湿度数据, 分别建立春、秋两季的旬花粉浓度预报方程, 实况检验预报准确率为72%。在此基础上, 将气象要素组合归于6种天气条件型, 分别建立致敏花粉浓度未来24小时预报模型。此后, 张德山等(2010)综合北京市城区及周边郊县共计7个站点1999–2005年花粉实况及气象要素数据, 应用正交筛选回归法建立不同站点24–96小时花粉浓度预报模式, 经检验效果较好。刘彬贤和白玉荣(2007)根据天津1999–2004年花粉数据, 按花粉浓度高峰分春、夏和秋3个时段分别建立花粉浓度预报方程。同时, 吴振玲等(2007)设计了全花粉季、分季节(春、夏和秋)和分阶段(按花粉量变化趋势分为6个阶段) 3种预测方案, 利用多元线性和非线性回归分析方法分别建立未来72小时花粉预测模型。经过比较发现, 分段预测方案优于全花粉季和分季节预测方案, 多元非线性回

归模型多数时间预测效果更好。

3.4 大气污染物协同作用

花粉与NO₂、SO₂和大气颗粒物PM等大气污染物共同影响城市的空气质量。已有研究表明, 影响花粉过敏症严重程度和发病率的环境因素主要为气传花粉浓度, 其它大气污染物的间接影响有滞后性(庄严等, 2010)。同时, 花粉与大气污染物之间存在协同生物效应(吕森林等, 2010; 龙隆等, 2017), 花粉容易吸附其它物质, 可能使致敏作用增强。Sauliene等(2019)研究发现, O₃和PM₁₀在花粉季节与桦木属和禾本科花粉浓度呈正相关, 但有的花粉类型可能与特定污染物成分之间相关性不显著, 甚至无相关性。截至目前, 花粉与大气污染物之间的协同作用尚不清楚, 研究其相关机制对环境监测和大气污染治理具有重要意义。

4 总结和展望

京津冀地区历年来气传花粉调查资料表明: (1) 该地区气传花粉浓度的年际变化基本遵循双峰型季节性规律, 春季高峰以柏科、杨柳科和桦木科等乔木植物花粉为主, 夏秋季高峰以蒿属、葎草属/大麻和藜科/苋科等草本植物花粉居多; (2) 不同季节影响气传花粉浓度的主导气象因子不同, 其中春季花粉浓度与气温和日照时数呈正相关, 夏季主要受相对湿度和水汽压的影响, 秋季花粉浓度与平均气温和日照时数呈正相关, 与风速和降水量呈负相关; (3) 该地区常见的致敏花粉类群春季为柏科、杨柳科、松科和悬铃木属, 秋季主要包括蒿属、葎草属、藜科和豚草属, 花粉过敏症的高发期与秋季致敏花粉颗粒抗原致敏性更强

以及飘散时间较长有关。尽管京津冀地区已经积累了大量的气传花粉研究资料,也取得了许多研究成果,但是目前仍存在一些亟待解决的问题。

首先,国内学者在对气传花粉的种类和数量进行调查时,一方面,气传花粉收集装置的多样化导致花粉的浓度单位不统一,不利于进行数据比较;另一方面,部分研究重点关注空气致敏花粉类型,而对研究区植被状况和花粉资料的调查不够详尽。同时,京津冀地区气传花粉监测点设置主要集中在城市,且城市内采样点覆盖不够全面,采样存在偶然性。此外,需要谨慎处理以往文献对部分形态相近的花粉类群的鉴定结果,例如,葎草属与大麻、苧麻科,藜科与苋科,仅凭光学显微镜很难将其区分,而且已发表的文献资料均缺乏花粉形态显微照片,后人无从考证。

其次,在气传花粉浓度对气象因子响应的研究中,多数只进行定性分析,并获得不同气象要素与花粉浓度之间的相关性,目前尚缺乏定量分析,因此无法对气传花粉浓度变化作进一步解释。此外,各个气象要素之间是否存在互作关系尚不明确,更缺少基于多气象因子建立的模型。

最后,在花粉过敏症相关研究方面,现有的致敏性花粉浓度评级未能体现单种花粉的致敏性(危害程度)强弱,而一些强致敏性花粉类型赋予权重后可能会影响对致敏性花粉浓度的判断。

在当今全球气候变暖、人类花粉过敏日趋严重的背景下,气传花粉的动态变化已成为国际研究热点,而且气传花粉被证明可作为气候变化的敏感指标。例如,Clot (2003)通过对瑞士西部纳沙泰尔地区1979–1999年气传花粉进行监测,发现冬季和春季开花的植物(尤其是木本植物)由于受暖冬的影响导致花粉季提前结束。Zhang等(2015)调查了美国9个气候区在1994–2000年和2001–2010年间气候变化导致的致敏性花粉季节变化,发现高纬度地区代表性致敏植物的花粉季节平均开始时间随气候变暖和降水增加而提前。上述研究表明,花粉季节对气候变化有较好的响应,这对于阐明京津冀地区气传花粉指示植物物候变化及其响应机制具有启示意义。

综上所述,建议今后在设置气传花粉监测点前进行合理规划,更科学地反映研究区气传花粉散布状况,避免因采样点设置不合理造成误差。同时,对研究区域内尤其是监测点附近的植被状况要进行详细

调查,并区分外源花粉,重点研究季风影响下的花粉长距离运输路径与驱动机制。此外,气传花粉指示物候是未来重要的研究方向。尽管植物盛花期与气传花粉浓度高峰期在客观上存在一定的关联性,但隐藏在背后的机制尚不清楚。一方面,缺少能与监测点附近植被相对应花期物候观测记录;另一方面,京津冀多数地区缺乏长期的气传花粉监测资料。今后需要继续加强气传花粉监测和植物花期物候观测,使气传花粉数据资料不断得到有效积累,服务于气传花粉与植物物候相关关系的研究。随着京津冀地区的进一步协同发展,人类健康和人居环境仍将是科学界关心的核心问题,对气传花粉的研究将在大气环境评估、花粉过敏防治以及城市绿化建设等方面继续发挥重要作用。

参考文献

- 白玉荣,段丽瑶,吴振玲,刘艳,孟雅琴 (2007a). 花粉浓度等级划分探讨. 气象 33(9), 112–117.
- 白玉荣,刘爱霞,孙枚玲,刘桂莲,孟雅琴 (2009). 花粉污染对人体健康的影响. 安徽农业科学 37, 2220–2222.
- 白玉荣,刘彬贤,刘艳,庞立,王志良 (2002). 花粉浓度预报. 气象 28(6), 56–57.
- 白玉荣,刘艳,庞立 (2007b). 天津市花粉过敏性疾病分析. 中华临床免疫和变态反应杂志 1, 193–196.
- 陈全尽,于欣,林文森 (1994). 天津市空气中致敏花粉的调查. 天津医药 22, 638–640.
- 程晟,余咏梅,阮标 (2015). 中国主要城市气传花粉植物种类与分布. 中华临床免疫和变态反应杂志 9, 136–141.
- 段丽瑶,白玉荣,吴振玲 (2008). 天津地区气象要素与花粉浓度的关系. 城市环境与城市生态 21(4), 37–39.
- 韩立芬,田海义,郭志敏,纪世强,杨印堂 (2001). 秦皇岛地区豚草花粉与其花粉症的关系探讨. 河北医药 23, 59–60.
- 郝廷,鲍亚丽,乔秉善 (2011). 北京市东郊空气中真菌与花粉的调查. 环境与健康杂志 28, 444–446.
- 何海娟,王良录,张宏誉 (2008). 北京城区空气中花粉分析. 中华临床免疫和变态反应杂志 2, 179–183.
- 何海娟,张德山,乔秉善 (2001). 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 (S2), 36–38.
- 胡伟倪,朱丽,谢立锋,张丰珍,白铭宇,王楠,孙中武 (2017). 北京市三年内每日花粉浓度与变应性鼻炎患者就诊比例的关联分析. 中华耳鼻咽喉头颈外科杂志 52, 31–

- 36.
- 黄赐璇, 陈志清, 马瑞 (1999). 空气中致敏花粉的定量研究. 地理科学进展 **18**, 263–266.
- 纪世强 (1988). 河北省秦皇岛市空气中花粉调查. 佳木斯医学院学报 **11**, 224–226.
- 江伟明, 潘睿聪, 罗传秀, 林媚珍 (2018). 城市空气花粉的研究进展. 生态科学 **37**(6), 199–208.
- 兰海燕, 刘爱华, 王晓华, 唐立伟, 张宏雨 (2010). 河北迁安地区气传花粉调查. 中国中医药现代远程教育 **8**(10), 153.
- 李劲松, 孙润桥, 鹿建春, 孙振海, 胡庆轩 (2000). 北京市大气花粉时空分布的研究. 中国公共卫生 **16**, 1089–1091.
- 李俊, 王洪源, 张志刚, 王旗 (2008). 空气花粉浓度与变应性鼻炎就医人次的暴露-反应关系初探. 环境与健康杂志 **25**, 793–797.
- 李全生, 江盛学, 李欣泽, 朱晓明, 魏庆宇 (2017). 中国气传致敏花粉的季节和地理播散规律. 解放军医学杂志 **42**, 951–955.
- 李英, 李月丛, 吕素青, 许清海 (2014). 石家庄市空气花粉散布规律及与气候因子的关系. 生态学报 **34**, 1575–1586.
- 李挚, 何海娟, 孙国强, 汤蕊, 顾建青, 孙劲旅 (2015). 北京市区与过敏相关的气传花粉. 基础医学与临床 **35**, 734–738.
- 刘彬贤, 白玉荣 (2007). 花粉浓度预报方法的初步探究. 气象科学 **27**(S1), 95–98.
- 刘宜纲, 吕世华, 刘建忠, 刘文军, 黄开龙, 张嘉仪, 欧阳昱辉, 李瑛 (2019). 2012–2016年海淀区气传花粉物候特征及其与气象要素的关系. 应用生态学报 **30**, 3563–3571.
- 龙隆, 赵显莉, 谭红, 何锦林 (2017). 飘散致敏花粉与大气颗粒物研究进展. 环境科学与技术 **40**(12), 112–118.
- 吕森林, 王青躍, 吴明红, 冯满, Shinichi N, 王效举, Shini-chi Y (2010). 城区飞散致敏花粉与大气细/超细颗粒物的协同生物效应研究. 环境科学 **31**, 2260–2266.
- 孟龄, 王效科, 欧阳志云, 任玉芬, 逯非 (2013). 北京城区气传花粉季节分布特征. 生态学报 **33**, 2381–2387.
- 孟龄, 王效科, 欧阳志云, 任玉芬, 王巧环 (2016). 北京城区气传花粉季节特征及与气象条件关系. 环境科学 **37**, 452–458.
- 欧阳昱晖, 张德山, 范尔钟, 李颖, 张罗 (2012). 夏秋季花粉症症状与花粉播散的相关性分析. 中华耳鼻咽喉头颈外科杂志 **47**, 623–627.
- 欧阳昱晖, 赵丽萍, 张罗 (2013). 花粉症的发病特点与大气花粉种属和浓度的关系. 首都医科大学学报 **34**, 805–807.
- 郝光发, 杨颖, 王成 (2010a). 软质地面树木花粉日飘散变化及影响因子. 东北林业大学学报 **38**(9), 67–70.
- 郝光发, 杨颖, 王成, 牟少华 (2010b). 北京城区硬质地面近地空间树木花粉浓度日变化及小气候因子的影响. 林业科学 **46**(8), 39–44.
- 申娜, 刘吉祥, 陈敏, 武斐 (2012). 天津市变应性鼻炎变应原分析. 中国耳鼻咽喉头颈外科 **19**, 404–407.
- 宋岚 (2013). 花粉调查在花粉症防治中的必要性. 现代预防医学 **40**, 370–371, 375.
- 王刚生, 郭文友 (1988). 河北医学院第二医院空气中花粉的调查分析. 河北医学院学报 **9**, 205–207.
- 王晓艳, 田宗梅, 宁慧宇, 王学艳 (2017). 北京城区气传花粉分布与过敏性疾病就诊关系分析. 临床耳鼻咽喉头颈外科杂志 **31**, 757–761.
- 王玉珍, 黄夏, 张金谈 (1989). 天津市气传致敏花粉探讨. 植物学报 **31**, 223–230.
- 王赞红, 许清海 (2006). 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. 地理研究 **25**, 262–267.
- 吴振玲, 宛公展, 白玉荣, 段丽瑶, 刘彬贤 (2007). 天津气传花粉预测模型研究. 气象科技 **35**, 832–836.
- 徐景先, 李耀宁, 张德山 (2009). 空气花粉变化规律和预测预报研究进展. 生态学报 **29**, 3854–3863.
- 许清海, 阳小兰, 梁文栋 (2000). 燕山地区花粉散布特征研究. 地理学与国土研究 **16**(4), 54–58, 62.
- 许清海, 杨振京, 阳小兰, 李月丛, 郑振华, 王瑞君 (2005). 滦河流域及周边地区花粉与植被关系的研究. 植物生态学报 **29**, 444–456.
- 杨振京, 徐建明 (2002). 孢粉-植被-气候关系研究进展. 植物生态学报 **26**(S1), 73–81.
- 张德山, 徐景先, 张姝丽, 冯涛, 宛公展 (2010). 北京地区花粉通量演变曲线的预报模式初探. 气象科学 **30**, 822–826.
- 张金谈 (1964). 北京西郊空气中的花粉. 植物学报 **12**, 282–285.
- 张姝丽, 张德山, 何海娟 (2003). 北京城区花粉数量天气条件分析. 气象科技 **31**, 406–408.
- 张姝丽, 张德山, 何海娟, 穆启占 (2006). 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 **34**, 724–727.
- 张雨辰, 马春梅, 方伊曼 (2018). 大气花粉监测与传播研究进展. 微体古生物学报 **35**, 200–210.
- 张宇晗, 李英 (2013). 石家庄中心城区空气花粉组成及其对环境的影响. 河北林业科技 (2), 1–4, 9.

中国气传致敏花粉调查领导小组 (1991). 中国气传致敏花粉调查. 北京: 北京出版社. pp. 36–38, 46.

庄严, 孙新民, 王学艳, 石海云, 张志刚, 王旗 (2010). 大气污染对变应性疾病及花粉症就诊人次的影响. 中华预防医学杂志 **44**, 1121–1127.

宗惠军, 贾淑兰, 孙长春, 张丽娟, 薛海涛, 杜赞英, 田文彩 (1990). 石家庄市气传花粉飘散规律调查. 河北医药 **12**, 295–296.

Clot B (2003). Trends in airborne pollen: an overview of 21 years of data in Neuchâtel (Switzerland). *Aerobiologia* **19**, 227–234.

Sauliene I, Sukiene L, Kazlauskienė V (2019). The assessment of atmospheric conditions and constituents on allergenic pollen loads in Lithuania. *J Environ Manage* **250**, 109469.

Xu JX, Zhang DS (2011). Daily variations of airborne pollen in Beijing Olympic Park during August of three consecutive years and their relationships with meteorological factors. *For Stud China* **13**, 154–162.

Zhang Y, Bielory L, Mi ZY, Cai T, Robock A, Georgopoulos P (2015). Allergenic pollen season variations in the past two decades under changing climate in the United States. *Global Change Biol* **21**, 1581–1589.

Analysis on the Data of Airborne Pollen in Beijing-Tianjin-Hebei Region

Dejingyu Zhao^{1, 3}, Caihua Ye², Yufei Wang^{1, 3}, Yifeng Yao^{1, 3*}

¹State Key Laboratory of Systematic and Evolutionary Botany, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China; ²Beijing Meteorological Service, Beijing 100089, China

³University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract As one of the components of urban air pollutants, pollen seriously affects our living environment and health, which is highly concerned by government and scientific community. Here, based on the airborne pollen data of past 60 years in Beijing-Tianjin-Hebei region, we summarize the major pollen types and their seasonal distribution characteristics in this region, and the data shows that the annual variation of airborne pollen concentration basically follows the ‘bimodal’ pattern, viz. arboreal pollen such as Cupressaceae, Salicaceae and Betulaceae dominate the peak in spring, while herbaceous pollen like *Artemisia*, *Humulus/Cannabis sativa*, Chenopodiaceae/Amaranthaceae dominate the peak in summer and autumn. Then we discuss the dominant meteorological factors related to pollen concentration and the characteristics of pollinosis. Furthermore, we point out that human activities (e.g., land reconstruction and roadside tree planting) may have an impact on the changes of airborne pollen composition in Beijing over these years. Finally, we emphasize the important role of future long-term airborne pollen monitoring in atmospheric environment assessment, pollinosis prevention, and urban greening construction.

Key words Beijing-Tianjin-Hebei region, airborne pollen, environmental assessment, pollinosis, living environment

Zhao DJY, Ye CH, Wang YF, Yao YF (2021). Analysis on the data of airborne pollen in Beijing-Tianjin-Hebei region. *Chin Bull Bot* **56**, 751–760.

* Author for correspondence. E-mail: yaoyf@ibcas.ac.cn