北京颐和园春季树木花粉飞散规律研究

周江鸿[1],夏 菲[1],李 洁[2],李秋月[3],王建红[1],车少臣[1],张国锋[1] (1. 园林绿地生态功能评价与调控技术北京市重点实验室,北京市园林科学研究院,北京 100102; 2. 北京市颐和园管理处,北京 100091;3. 北京市气候中心,北京 100089)

摘要 为了在颐和园开展春季花粉浓度的精细化预报,更好地指导游客进行自我防护,从而降低花粉过敏症的发病率,利用 Burkard-HIRST 型孢子捕捉仪和 Phenom ProX 全自动台式扫描电子显微镜对 2018 年春季颐和园气传树木花粉种类和浓度的变化规律进行了研究。结果表明,春季最低气温稳定超过 0 ℃,最高气温稳定超过 15 ℃,颐和园的柏科、榆科和杨柳科树木将进入盛花期。春季昆明湖南岸和北岸的气传花粉日平均浓度各有 2 个峰值,第 1 个峰值出现在 3 月下旬;第 2 个峰值出现在 4 月下旬。在第 1 个峰值期间,昆明湖北岸的花粉浓度高于南岸,此时北岸的花粉种类主要为柏科树木花粉,所占比例达 96.98%;而南岸主要为柏科、杨柳科和榆科树木花粉,所占比例分别为 59.98%、27.22%和 10.92%。在第 2 个峰值期间,南岸的花粉浓度高于北岸,此时北岸的花粉种类主要为桑科和松科树木花粉,所占比例分别为 66.28%和 32.88%;而南岸则主要为桑科树木花粉,所占比例达 97.59%。3 月下旬和 4 月下旬,昆明湖南岸逐时花粉浓度平均值表现为 12:00 前后低,0:00 前后高;而昆明湖北岸则表现为 12:00 前后高,0:00 前后低。颐和园昆明湖北岸春季花粉日平均浓度的最高值出现在 3 月下旬,逐时浓度平均值的最高值出现在 12:00 前后,贡献率最大的为柏科树木花粉;颐和园昆明湖南岸春季花粉日平均浓度的最高值出现在 4 月下旬,逐时浓度平均值的最高值出现在 0:00 前后,贡献率最大的为桑科树木花粉。

关键词 颐和园;气传树木花粉;飞散规律;花粉浓度;花粉种类
中图分类号 S718.5 **文献标识码** A
文章编号 0517-6611(2020)05-0117-06
doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2020.05.032
开放科学(资源服务)标识码(OSID):

The Dispersal Regularity of Airborne Tree Pollens in Spring of the Summer Palace

ZHOU Jiang-hong[1], XIA Fei[1], LI Jie[2] et al (1. Beijing Key Laboratory of Ecological Function Assessment and Regulation Technology of Green Space, Beijing Institute of Landscape Architecture, Beijing 100102; 2. Administrative Office of the Summer Palace, Beijing 100091)

Abstract The aim of this work is to fine forecast the pollen amount in the air of the Summer Palace, guide tourists to protect themselves, and then reduce the incidence of hay fever. With Burkard (Hirst-type) volumetric spore traps and Phenom ProX desktop scanning electron microscope (SEM), the dispersal regularity of airborne tree pollens in different locations of the Summer Palace in the spring of 2018 were studied. The results showed that when the daily minimum and maximum temperatures were above 0 and 15 ℃ continuously, respectively, the trees of Cupressaceae, Ulmaceae and Salicaceae in the Summer Palace began to put forth their blossoms substantially. There were two peaks of pollen concentration in the air of both south and north coast of the Kunming Lake, which occurred in the last ten days of March and April, respectively. In the March peak, the daily average pollen concentration of north coast was higher than that of south coast. The dominant pollens in the air of north coast were Cupressaceae, accounting for 96.98% of the total amount of this period, and that of south coast were Cupressaceae, Ulmaceae and Salicaceae, accounting for 59.98%, 27.22% and 10.92%, respectively. In the April peak, the daily average pollen concentration of south coast was higher than that of north coast. The dominant pollens in the air of north coast was Moraceae and Pinaceae, accounting for 66.28% and 32.88% of the total amount of this period, respectively, and that of south coast were Moraceae, accounting for 97.59%. The peak and trough of hourly average airborne pollen concentration in the air of south coast in the last ten days of March and April occurred around 0:00 and 12:00, respectively, but that of north coast occurred around 12:00 and 0:00, respectively. The peak of daily average pollen concentration of north coast of the Kunming Lake occurred in the last ten days of March, and that of hourly average airborne pollen concentration occurred around 12:00 with Cupressaceae pollens as the dominant ones. The peak of daily average pollen concentration of south coast of the Kunming Lake occurred in the last ten days of April, and that of hourly average airborne pollen concentration occurred around 0:00 with Moraceae pollens as the dominant ones.

Key words The Summer Palace; Airborne tree pollens; Dispersal regularity; Pollen concentration; Pollen species

园林植物在改善城市气候与居住环境方面发挥着重要的作用,然而有些植物的花粉能使人发生过敏性反应,严重危害人体健康,因此美国的 Stanley 等[1]提出了"致敏花粉是空气污染物之一"的观点;我国的廖凤林[2]将致敏花粉含量达到一定程度,使花粉病发病率达 0.05%以上的空气状况称为花粉污染。近年来,世界各地花粉过敏症的发病率均呈逐年升高的趋势,我国的发病率为 0.5%~1.0%,高发地区达 5.0%;北京地区呼吸道过敏病人中,1/4~1/3 有花粉过敏问题[3-4]。园林绿地中的植被组成是影响空气中花粉种类和浓度大小的主要因素之一[5],由于不同公园中植物种类和数量差异较大,空气中致敏花粉的种类和数量是不同的,因此在不同公园中开展气传花粉飞散规律研究能够为花粉浓度的精细化预报提供数据支撑。

颐和园是我国现存最大的古典皇家园林,其植物配置在景观营造中发挥了极其重要的作用,全园总面积 290 hm^2,现有乔木和灌木共计 51 163 株,其中常绿乔木有 10 种,21 634 株;落叶乔木有 82 种,13 423 株。万寿山前山以侧柏和圆柏为主,间植少量松树;后山则以松树为主,间植柏树、五角枫、槲树、栾树、刺槐等;昆明湖沿岸则种植有大量桃树和柳树[6]。颐和园自开辟为旅游景点以来,每年吸引着国内外近千万游客入园参观[7],而春季大量树木开花散粉必然会对游客的健康造成负面影响。研究颐和园春季空气中花粉的浓度变化及飘散规律,对于在公园内开展花粉浓度的精细化预报,指导游客进行自我防护具有重要意义,也可为建设有益健康的园林绿地提供合理化建议。

基金项目 北京市科技计划项目(Z171100004417019)。
作者简介 周江鸿(1972—),男,山西怀仁人,高级工程师,博士,从事园林植物花粉污染研究。
收稿日期 2019-09-03

1 材料与方法

1.1 花粉样品的采集 花粉样品采集使用英国 Burkard 公司生产的 HIRST 型孢子捕捉仪,分别在颐和园昆明湖北岸邀月门附近和昆明湖南岸南水北调入水口附近各放置 1 台。该捕捉仪配有内置真空泵,可以 24 h 连续捕捉空气中的花粉,其滚筒转动速度为 2 mm/h,持续采样的时间达 7 d,空气流量为 10 L/min,花粉会粘到由发条驱动的滚筒上的黏合剂涂层上。由于该研究要利用扫描电镜进行样品观察,因此将扫描电镜专用的双面碳导电胶带(Ted Pella 8 mm×20 m)缠绕在孢子捕捉仪的滚筒上来采集空气中的花粉样品。

1.2 扫描电镜制样和观察方法 将采集花粉样品的双面导电胶带按时间顺序剪成小段,每段长度 16 mm,为 8 h 所采集样品,然后将其粘在直径 25 mm 的扫描电镜样品台上,并用 Cressington 108 auto 离子溅射仪喷金、镀膜,电流 20 mA,溅射时间 20 s。利用 Phenom ProX 全自动台式扫描电子显微镜进行观测,在 270×放大倍数下,每视野面积约为 1 mm^2,统计 1 mm^2 视野内的花粉数目,每小时区域统计 3 个视野;每视野内选取 10 粒花粉,放大至 5 000×左右,测量其花粉大小,观测其形状、极面和赤道面的表面纹饰、萌发沟或萌发孔的数量及形态,参照《中国木本植物花粉电镜扫描图志》[8] 和《中国气传花粉和植物彩色图谱》[9],确定花粉种类。

1.3 花粉浓度计算方法 参照郄光发等[10] 的公式计算花粉浓度,$N=A\times\frac{B}{D\times E}$,式中 N 为空气中花粉浓度(粒/m^3);A 为计数点内花粉个数;B 为每小时采样区域面积($B=16$ mm^2,胶带宽 8 mm,每小时转动 2 mm);D 为计数点面积($D=1$ mm^2,扫描电镜 270 ×视野面积);E 为每小时采样空气体积($E=0.6$ m^3,Burkard 采样器空气流量为 10 L/min)。该研究计算每立方米空气中花粉浓度的公式为 $N=26.67A$。

2 结果与分析

2.1 颐和园风媒花乔木的物种构成 颐和园春季开花的风媒花乔木有 11 科 20 属 33 种,共计 22 803 株;其中裸子植物 3 科 6 属 9 种,被子植物 8 科 14 属 24 种。柏科(Cupressaceae)植物有 2 属 3 种 13 640 株,是种植数量最多的乔木,主要分布于万寿山前山;其中侧柏(*Platycladus orientalis*)有 9 446 株,为雌雄同株植物;桧柏(*Sabina chinensis*)有 4 062 株,为雌雄异株植物,雄株约占 50%。松科(Pinaceae)植物有 3 属 5 种 3 387 株,全部为雌雄同株植物,主要分布于万寿山后山;其中数量最多的为油松(*Pinus tabulaeformis*),有 3 205 株。杨柳科(Salicaceae)植物有 2 属 5 种 4 292 株,是被子植物中数量最多的,主要分布于昆明湖沿岸,其中毛白杨(*Populus tomentosa*)有 682 株,旱柳(*Salix matsudana*)有 780 株,绦柳(*Salix matsudana* var. *pendula*)有 2 756 株。榆科(Ulmaceae)植物有 3 属 6 种 758 株,其中小叶朴(*Celtis bungeana*)有 382 株,榆树(*Ulmus pumila*)有 315 株。桑科(Moraceae)植物有 3 属 5 种 407 株,其中桑树(*Morus alba*)有 196 株,构树(*Broussonetia papyrifera*)有 164 株。木犀科(Oleaceae)梣属(*Fraxinus*)的大叶白蜡(*F. rhynchophylla*)和白蜡(*F. chinensis*)分别有 77 株和 114 株。壳斗科(Fagaceae)、银杏科(Ginkgoaceae)、胡桃科(Juglandaceae)、杜仲科(Eucommiaceae)和悬铃木科(Platanaceae)植物的数量均不足 100 株(表 1)。

2.2 2018 年 3—4 月颐和园气传花粉浓度日平均值的变化 2018 年 3—4 月昆明湖北岸的气传花粉浓度日平均值有 2 个峰值,第 1 个峰值较高,出现在 3 月 17 日—4 月 1 日,其中有 8 d 花粉浓度日平均值超过 400 粒/m^3;3 月 17 日花粉浓度日平均值为 49.64 粒/m^3,随后浓度逐渐升高,至 3 月 24 日达到最高值 797.88 粒/m^3;3 月 26 日以后花粉浓度逐渐下降,4 月 6 日花粉浓度日平均值只有 2.22 粒/m^3。4 月 6—20 日一直维持在较低水平,花粉浓度日平均值均小于 30 粒/m^3。第 2 个峰值较低,出现在 4 月 20—27 日,其中有 4 d 花粉浓度日平均值超过 40 粒/m^3,最大值出现在 4 月 22 日,为 61.49 粒/m^3(图 1)。

2018 年 3—4 月昆明湖南岸的气传花粉浓度日平均值也有 2 个峰值,第 1 个峰值同样出现在 3 月 16—4 月 1 日,但是最大值只有 101.86 粒/m^3,出现在 3 月 25 日。4 月 6—21 日期间花粉浓度日平均值均小于 10 粒/m^3。第 2 个峰值较高,出现在 4 月 22—5 月 1 日期间,其中有 3 d 花粉浓度日平均值超过 1 000 粒/m^3,最大值出现在 4 月 24 日,为 1 498.34 粒/m^3(图 1)。

根据 2018 年 3—4 月颐和园气温观察值(图 2),3 月 1—21 日期间气温偏低,只有 6 d 的最低气温高于 0 ℃,有 12 d 的最高气温高于 10 ℃,3 月 17 日还有一次降雪天气。3 月 23 日—4 月 3 日,最低气温均在 0 ℃以上,最高气温均超过 15 ℃,使柏科、榆科和杨柳科植物大量开花散粉,形成了花粉浓度的第 1 个高峰。

2.3 不同时间段花粉种类和数量的变化 根据图 1 结果可知,2018 年 3 月 16 日—5 月 1 日昆明湖北岸和南岸花粉浓度日平均值的变化均可分为 3 个时间段,分别为 2 个花粉浓度高峰时间段和 2 个峰值之间的花粉浓度较低时间段,这是由不同植物的盛花期决定的。不同植物的始花期可能不同,盛花期持续时间长短也可能不同,从而造成不同时间段空气中花粉的种类是不同的,该研究分别对这 3 个时间段的气传花粉种类进行了识别和鉴定。由于同科不同种植物的花粉形态特征极为相似,因此花粉种类只鉴定到科。

3 月 16—31 日期间,昆明湖南岸的空气中有 8 科植物花粉,其中柏科、杨柳科和榆科植物花粉所占比例较高,分别为 59.98%、27.22%和 10.92%;木犀科、桦木科、胡桃科、松科和银杏科植物花粉所占比例均低于 1.2%(图 3a)。昆明湖北岸空气中只有 6 科植物花粉,且柏科植物花粉占 96.98%,远高于南岸;而榆科、杨柳科和木犀科植物花粉所占比例只有 1.72%、1.05%和 0.19%,远低于南岸;松科植物花粉所占比例与南岸差别不大(图 4a)。

4 月 1—22 日期间,随着多种树木进入开花期,昆明湖南岸空气中的植物花粉种类增加为 12 科,其中柏科、杨柳科和榆科植物花粉所占比例分别下降为 36.70%、10.69%和 1.43%,而松科、木犀科、银杏科和桦木科植物花粉所占比例

表 1　颐和园风媒花乔木的种类和数量

Table 1　Species and quantities of wind-borne trees in the Summer Palace

科名 Family name	属名 Genus name	种名 Species name	株数 Number	小计 Total
柏科 Cupressaceae	侧柏属 *Platycladus*	侧柏 *P. orientalis*	9 446	13 640
	圆柏属 *Sabina*	桧柏 *S. chinensis*	4 062	
		龙柏 *S. chinensis* var. *kaizuca*	132	
松科 Pinaceae	松属 *Pinus*	油松 *P. tabulaeformis*	3 205	3 387
		白皮松 *P. bungeana*	111	
		华山松 *P. armandii*	22	
	雪松属 *Cedrus*	雪松 *C. deodara*	11	
	云杉属 *Picea*	青杆 *P. wilsonii*	38	
杨柳科 Salicaceae	杨属 *Populus*	毛白杨 *P. tomentosa*	682	4 292
		加杨 *P. canadensis*	73	
		小叶杨 *P. simonii*	1	
	柳属 *Salix*	绦柳 *S. matsudana* var. *pendula*	2 756	
		旱柳 *S. matsudana*	780	
榆科 Ulmaceae	朴属 *Celtis*	小叶朴 *C. bungeana*	382	758
		朴树 *C. sinensis*	24	
	榆属 *Ulmus*	榆树 *U. pumila*	315	
		大果榆 *U. macrocarpa*	26	
	榉属 *Zelkova*	大叶榉 *Z. schneideriana*	5	
		光叶榉 *Z. serrata*	6	
桑科 Moraceae	桑属 *Morus*	桑树 *M. alba*	196	407
		龙桑 *M. alba* var. *tortuosa*	39	
		蒙桑 *M. mongolica*	7	
	构属 *Broussonetia*	构树 *B. papyrifera*	164	
	柘属 *Cudrania*	柘树 *C. tricuspidata*	1	
木犀科 Oleaceae	梣属 *Fraxinus*	大叶白蜡 *F. rhynchophylla*	77	191
		白蜡 *F. chinensis*	114	
壳斗科 Fagaceae	栗属 *Castanea*	板栗 *C. mollissima*	1	37
	栎属 *Quercus*	槲树 *Q. dentata*	34	
		栓皮栎 *Q. variabilis*	2	
银杏科 Ginkgoaceae	银杏 *Ginkgo*	银杏 *G. biloba*	68	68
胡桃科 Juglandaceae	胡桃 *Juglans*	胡桃 *J. regia*	12	12
杜仲科 Eucommiaceae	杜仲属 *Eucommia*	杜仲 *E. ulmoides*	10	10
悬铃木科 Platanaceae	悬铃木属 *Platanus*	悬铃木 *P. acerifolia*	1	1
总计 Total			22 803	

注：数据由北京市颐和园管理处李洁提供

Note：Data provided by Li Jie，Beijing Summer Palace Management Office

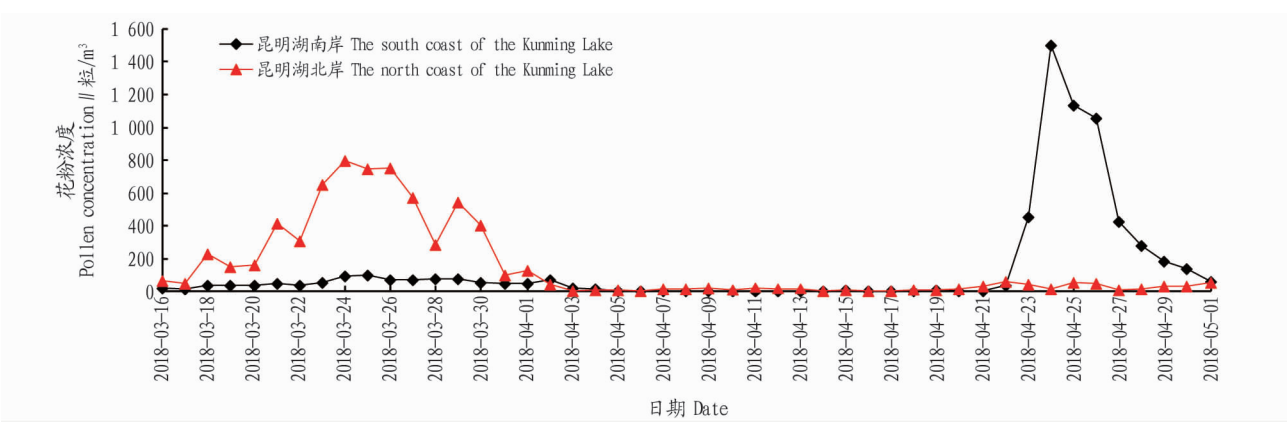


图 1　2018 年 3 月 16 日—5 月 1 日颐和园气传花粉浓度日平均值

Fig. 1　Daily average airborne pollen concentration from 16 March to 1 May in 2018 of the Summer Palace

分别上升为 13. 80%、13. 64%、4. 29%和 2. 44%，胡桃科植物花粉所占比例变化不大。桑科和杜仲科植物开始开花，花粉所占比例分别达 11. 11%和 4. 12%，壳斗科和悬铃木科花粉数量较少，所占比例只有 0. 17% 和 0. 76%（图 3b）。同一时

期,昆明湖北岸的花粉种类与南岸相同,但各科植物花粉所占比例有所不同,松科植物所占比例最高,为 30.93%,高于南岸;柏科植物次之,为 17.53%,低于南岸;银杏科植物花粉所占比例达 17.16%,高于南岸;杨柳科植物花粉所占比例只有 2.14%,远低于南岸;桑科、木犀科、杜仲科、桦木科、胡桃科、榆科、壳斗科和悬铃木科植物花粉所占比例分别为 11.12%、10.53%、4.64%、3.76%、1.18%、0.44%、0.44% 和 0.15%,与南岸相差不大(图 4b)。

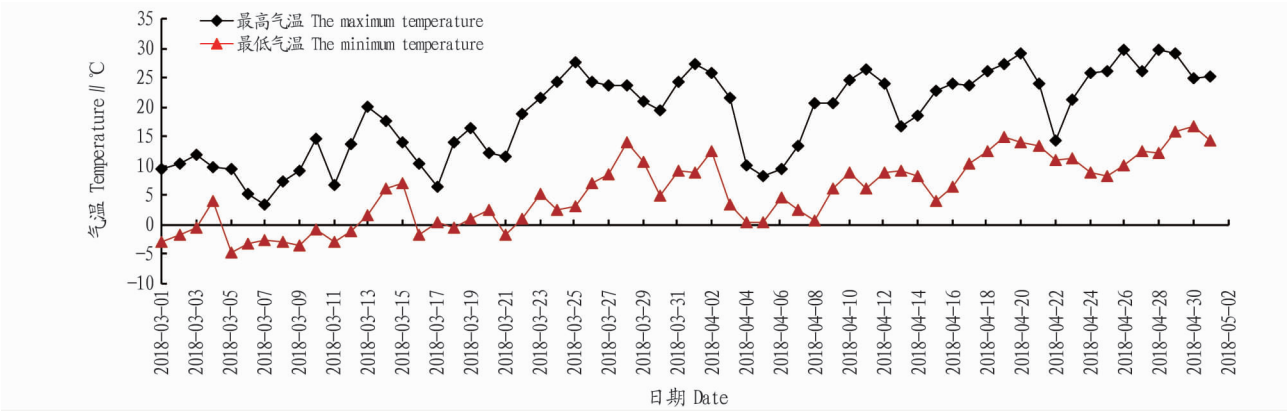
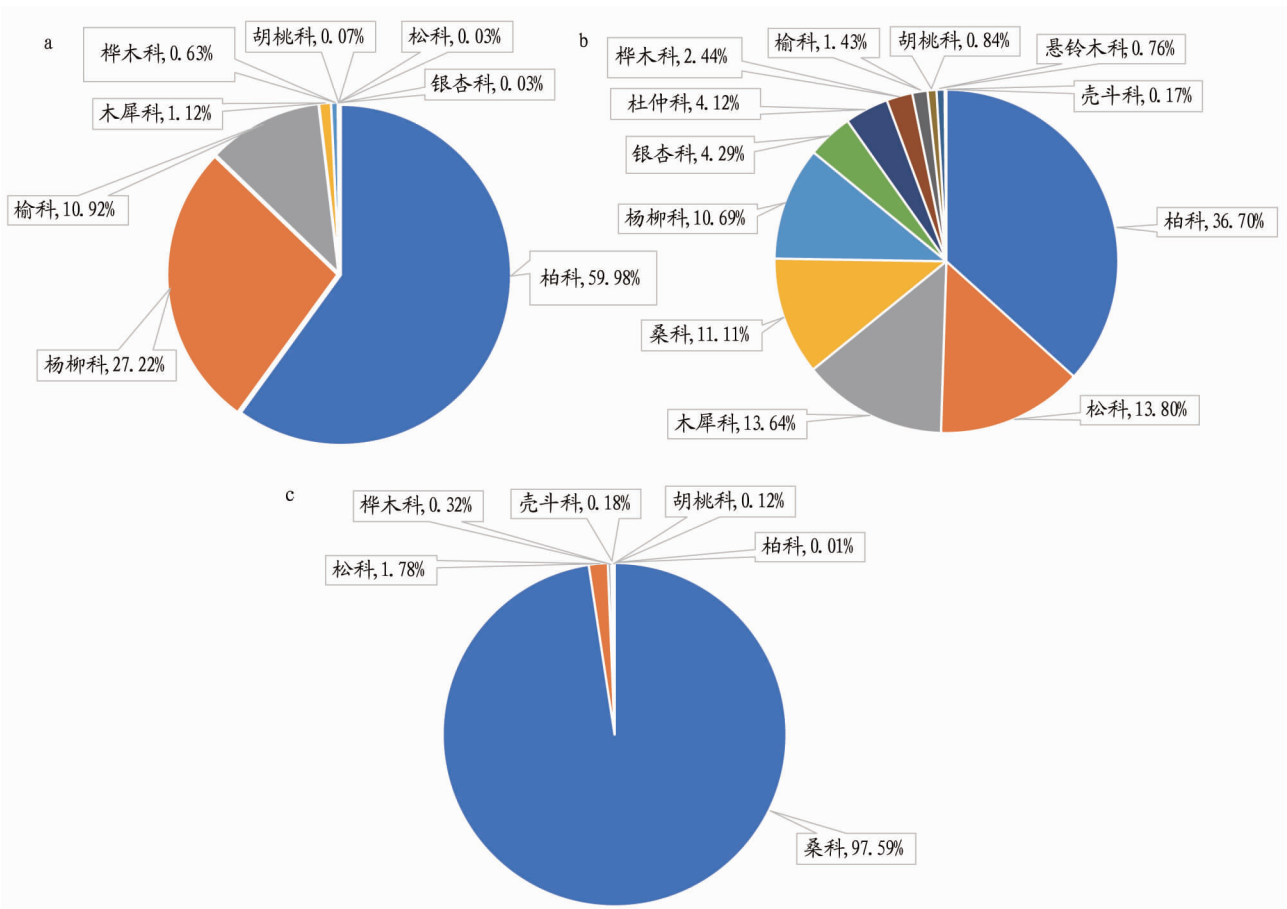


图 2 2018 年 3 月 1 日—5 月 1 日颐和园附近气温观测值

Fig. 2 The air temperature from 1 March to 1 May in 2018 of the Summer Palace



注:a. 3 月 16—31 日;b. 4 月 1—22 日;c. 4 月 23 日—5 月 1 日

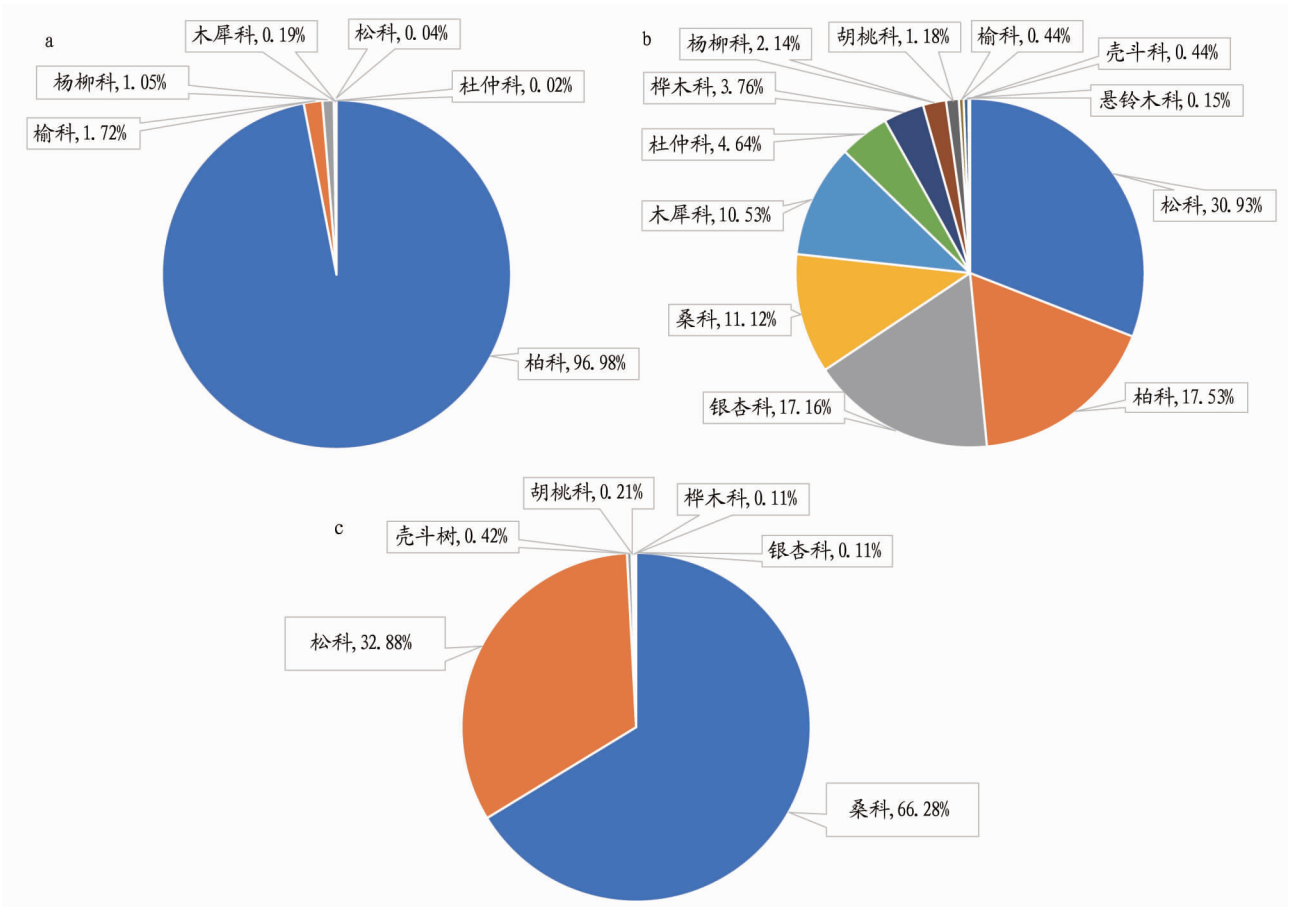
图 3 昆明湖南岸气传花粉种类及所占比例

Fig. 3 Airborne pollen species and percentage of south coast of the Kunming Lake

4 月 23 日—5 月 1 日期间,昆明湖南岸空气中桑科植物花粉数量最多,所占比例达 97.59%;松科植物花粉次之,仅为 1.78%;桦木科、壳斗科、胡桃科和柏科植物花粉所占比例均小于 0.5%(图 3c)。而昆明湖北岸空气中桑科植物花粉所占比例为 66.28%,低于南岸;松科植物花粉所占比例为 32.88%,远高于南岸;桦木科、壳斗科和胡桃科植物花粉所占比例也均小于 0.5%,与南岸相差不大(图 4c)。

2.4 不同时间段花粉逐时平均浓度的变化 为了掌握颐和园不同区域花粉浓度在一天当中的逐时变化规律,根据花粉浓度日平均值的变化规律(图 1),该研究分 3 个时间段统计

了颐和园春季花粉逐时浓度的平均值。



注:a. 3 月 16—31 日;b. 4 月 1—22 日;c. 4 月 23 日—5 月 1 日

图 4　昆明湖北岸气传花粉种类及所占比例

Fig. 4　Airborne pollen species and percentage of north coast from 16 March to 1 May in 2018 of the Kunming Lake

2018 年 3 月 16—31 日期间,昆明湖南岸花粉维持较低水平,逐时浓度的平均值为 46. 96~78. 27 粒/m^3,最大值出现在 1:00—2:00,最低值在 17:00—18:00,总体上表现为 12:00 前后花粉浓度低,0:00 前后花粉浓度高;这一阶段昆明湖北岸花粉浓度较高,逐时浓度的平均值为 321. 82~470. 20 粒/m^3,最大值出现在 14:00—15:00,最低值在 20:00—21:00,总体上表现为 11:00—16:00 花粉浓度高,17:00—0:00 花粉浓度低(图 5a)。这一时期对空气中花粉浓度贡献率最大的是柏科树木(图 3a 和图 4a),颐和园的柏树主要分布于万寿山前后区域,柏树在中午大量开花散粉,造成了昆明湖北岸中午前后花粉浓度较高;由于昆明湖的阻隔,万寿山上的柏树花粉不能迅速扩散到南岸,这可能是造成南岸中午前后花粉浓度较低的主要原因。

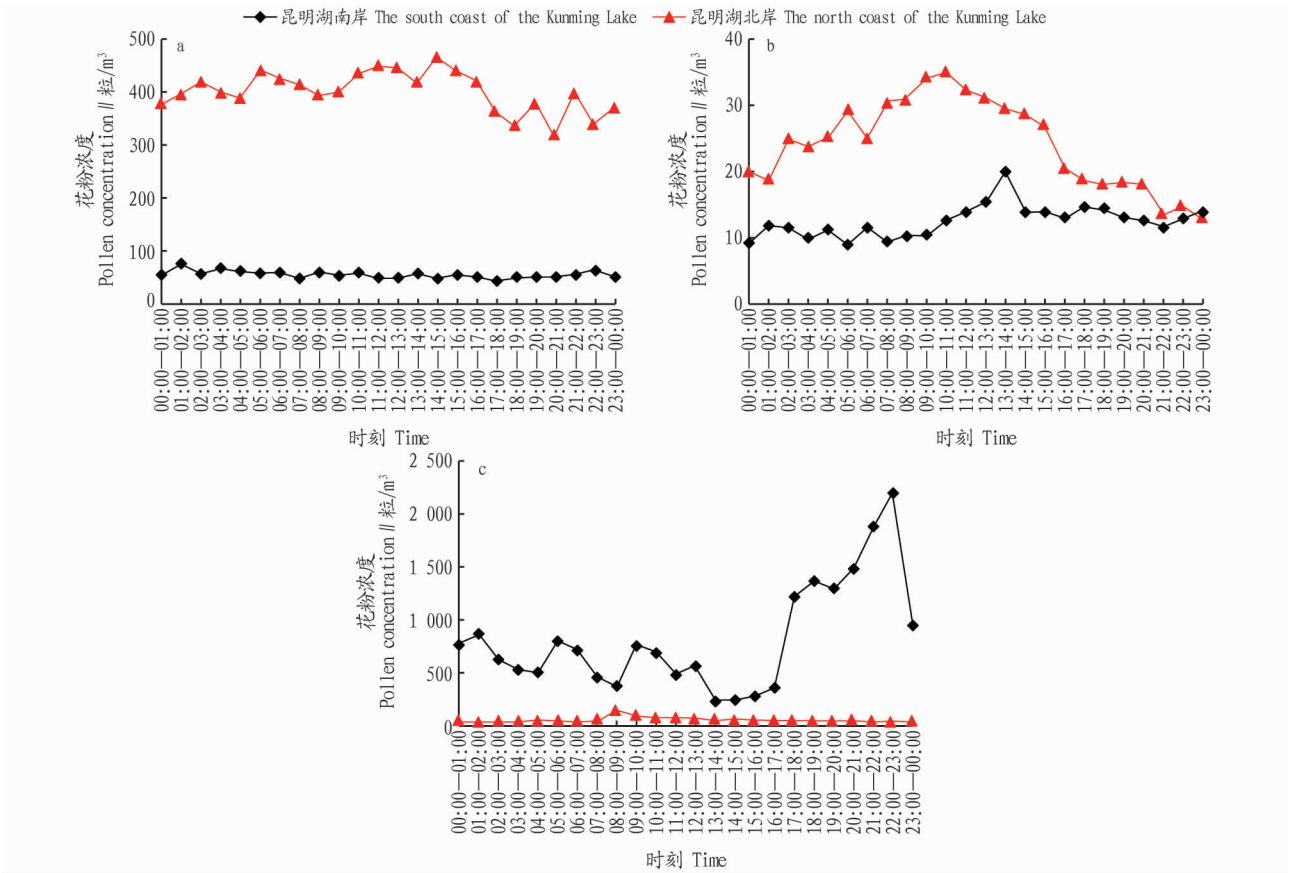
2018 年 4 月 14—22 日期间,昆明湖南岸逐时花粉浓度的平均值为 9. 03~20. 11 粒/m^3,最大值出现在 13:00—14:00,最低值在 5:00—6:00;昆明湖北岸花粉逐时浓度的平均值为 12. 93~35. 16 粒/m^3,最大值出现在 10:00—11:00,最低值在 23:00—0:00(图 5b)。这一时期昆明湖南岸和北岸均表现出中午前后花粉浓度高,而晚上花粉浓度低的规律。

2018 年 4 月 22 日—5 月 1 日期间,昆明湖南岸花粉浓度极高,逐时花粉浓度的平均值为 228. 18~2 195. 83 粒/m^3,最大值出现在 22:00—23:00,最低值在 13:00—14:00,总体上表现为晚上花粉浓度高,白天花粉浓度低;昆明湖北岸花粉逐时浓度的平均值为 24. 23~140. 81 粒/m^3,最大值出现在 8:00—9:00,最低值在 23:00—0:00,总体上表现为早晨花粉浓度高,晚上花粉浓度低(图 5c)。这一时期对空气中花粉浓度贡献率最大的是桑科树木(图 3c 和图 4c),颐和园的桑科树木主要分布于昆明湖西堤,距离南岸和北岸采样点均较远,造成了昆明湖北岸和南岸中午前后花粉浓度较低。这表明逐时花粉浓度的影响因素复杂,可能受附近的地形地貌及建筑物等多种因素影响,还需要继续开展深入的研究。

3　结论与讨论

影响春季树木始花期的主要气象因子是温度,空气湿度、降水量及日照时数对始花期的影响不是太大[11],开花较早树种的始花期受冬春气温变化的影响更显著[12],早春气温偏高会使多数树木的始花期提前。公园绿地中不同时期空气中花粉种类和浓度的日平均值是由不同植物的数量和盛花期决定的,不同植物种植的数量不同、始花期不同、盛花期持续时间长短也可能不同,从而造成不同时间段空气中花粉的种类和浓度是不同的。该研究表明春季最低气温稳定超过 0 ℃,最高气温稳定超过 15 ℃,颐和园的柏科、榆科和

杨柳科树木将进入盛花期,形成花粉浓度的第 1 个高峰。由于颐和园柏科树木主要分布在万寿山上,榆科和杨柳科树木主要分布在昆明湖沿岸,而且柏科树木的种植数量和单株花粉量都远高于榆科和杨柳科树木,因此这一时期北岸的花粉种类主要为柏科树木花粉,而南岸主要为杨柳科和榆科树木花粉,且北岸的花粉浓度远高于南岸。相关研究表明,北京地区的圆柏、侧柏、油松、银杏、榆树、毛白杨、旱柳、加拿大杨、白蜡、构树、桑树、胡桃等植物花粉均能引起人体的过敏反应[13],这些树木在颐和园均有种植,并且柏科、松科、杨柳科和桑科植物数量占到颐和园全部树木的 98%以上,因此引发游客产生过敏反应的风险较高,应在今后的植物群落升级改造中进行调整。



注:a. 3 月 16—31 日;b. 4 月 1—22 日;c. 4 月 23 日—5 月 1 日

图 5 2018 年 3 月 16 日—5 月 1 日颐和园气传花粉浓度逐时平均值

Fig. 5 Hourly average airborne pollen concentration from 16 March to 1 May in 2018 of the Summer Palace

花粉浓度的逐时变化与树木的开花散粉习性、人为因素干扰和采样点周围地表条件及小气候因子有密切关系[10],在日照正常的情况下,多数风媒植物的日散粉高峰期在 12:00—14:00[14]。该研究表明,2018 年 3 月下旬和 4 月下旬,昆明湖北岸花粉逐时浓度的平均值表现为 12:00 前后花粉浓度高,而昆明湖南岸则表现为 0:00 前后花粉浓度高,这可能与昆明湖的阻隔作用有关,所以花粉敏感人群应尽量避免中午在昆明湖北岸活动。这表明逐时花粉浓度的影响因素复杂,可能受树种、气象因子、附近的地形地貌及建筑物等多种因素影响,还需要继续开展深入的研究。该研究为颐和园开展花粉浓度的精细化预报,指导游客进行自我防护提供了数据支撑,也为颐和园植物群落升级改造提供了参考。

参考文献

[1] STANLEY R G,LINSKENS H F. Pollen biology biochemistry management [M]. New York: Springer-Verlag,1974.
[2] 廖凤林. 城市园林绿化中的花粉污染[J]. 城市环境与城市生态,1991,4(2):21-25.
[3] 廖凤林. 城市空气花粉污染评价[J]. 城市环境与城市生态,2000,13(3):45-46.
[4] 张军,徐新,张增信,等. 南京市空气中花粉特征及其与气象条件关系[J]. 气象与环境学报,2009,25(5):67-71.
[5] 孟龄,王效科,欧阳志云,等. 北京城区气传花粉季节特征及与气象条件关系[J]. 环境科学,2016,37(2):452-458.
[6] 赵京城,李杰. 颐和园乔木资源及种植配置分析[J]. 绿色科技,2017(19):54-56.
[7] 刘敏. 遗产旅游地环境容量系统动力学研究:以颐和园为例[D]. 北京:首都师范大学,2009.
[8] 李天庆,曹慧娟,康木生,等. 中国木本植物花粉电镜扫描图志[M]. 北京:科学出版社,2011.
[9] 乔秉善. 中国气传花粉和植物彩色图谱[M]. 2 版. 北京:中国协和医科大学出版社,2014.
[10] 郄光发,杨颖,王成,等. 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[J]. 林业科学,2010,46(8):39-44.
[11] 王琳,郑育桃,伍艳芳,等. 气象因子对芳香植物始花期的影响[J]. 经济林研究,2017,35(2):194-199.
[12] 杨中义,马晋,张妮娜,等. 太谷地区园林树木始花期对气温变化的响应[J]. 山西农业科学,2015,43(7):866-869.
[13] 欧阳志云,辛嘉楠,郑华,等. 北京城区花粉致敏植物种类、分布及物候特征[J]. 应用生态学报,2007,18(9):1953-1958.
[14] 赵明明,陈虹,潘存德,等. 核桃散粉期花粉通量时空格局与影响因素[J]. 北方园艺,2017(23):77-80.