

# 2023~2024年间湛江市中心城区空气花粉分布特征及与气象因素的关系

练映珊<sup>1,2</sup>, 吴昱慧<sup>1</sup>, 刘小丽<sup>1</sup>, 杜琦敏<sup>1</sup>, 吴文艳<sup>1</sup>, 邓佳怡<sup>1</sup>, 廖正旭<sup>1</sup>, 陈碧珊<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>岭南师范学院地理科学学院, 广东 湛江

<sup>2</sup>广西师范大学环境与资源学院, 广西 桂林

收稿日期: 2025年12月22日; 录用日期: 2026年1月29日; 发布日期: 2026年2月24日

## 摘要

空气花粉可反映城市环境状况, 不同地区因气候差异花粉浓度和飘散规律不同。本研究利用Spearman相关分析对湛江市中心城区2023年8月到2024年8月空气花粉分布特征及与气象因素的关系进行研究分析。结果表明: (1) 湛江地区空气花粉类型丰富, 各花粉含量差异显著, 乔木花粉以松属、桑科等为主, 灌木花粉常见榛属、野桐属, 草本花粉以禾本科和菊科为主, 蕨类孢子主要是里白属和芒萁属。(2) 花粉浓度呈季节性变化和双峰型特征, 3~5月乔木花粉浓度最高, 9~11月草本花粉浓度次之。(3) 花粉组合与植被花期紧密相关。(4) 气象因素对花粉的影响显著, 全年受降水、气温和气压影响明显, 春、秋季受气象因子影响较大; 特殊天气如台风和强降水使花粉浓度降低。

## 关键词

空气花粉, 气象因素, 相关性分析, 湛江市

## Distribution Characteristics of Airborne Pollen in the Central Urban of Zhangjiang City from 2023 to 2024 and Their Relationships with Meteorological Factors

Yingshan Lian<sup>1,2</sup>, Yuhui Wu<sup>1</sup>, Xiaoli Liu<sup>1</sup>, Qimin Du<sup>1</sup>, Wenyan Wu<sup>1</sup>, Jiayi Deng<sup>1</sup>, Zhengxu Liao<sup>1</sup>, Bishan Chen<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>School of Geographical Sciences, Lingnan Normal University, Zhanjiang Guangdong

\*通讯作者。

文章引用: 练映珊, 吴昱慧, 刘小丽, 杜琦敏, 吴文艳, 邓佳怡, 廖正旭, 陈碧珊. 2023~2024年间湛江市中心城区空气花粉分布特征及与气象因素的关系[J]. 环境保护前沿, 2026, 16(2): 231-244. DOI: 10.12677/aep.2026.162024

## Abstract

Airborne pollen can reflect the urban environmental conditions. Due to climatic differences, pollen concentrations and dispersion patterns vary across different regions. This study utilized Spearman correlation analysis to investigate the distribution characteristics of airborne pollen and its relationship with meteorological factors in the central urban area of Zhanjiang from August 2023 to August 2024. The results show that: (1) The pollen types in Zhanjiang are diverse, with significant differences in pollen content. Tree pollen is mainly from the *Pinus* and Moraceae, shrub pollen is commonly from the *Corylus* and *Mallotus*, and herb pollen is dominated by Poaceae and Asteraceae-Aster. Fern spores mainly consist of the *Diplazium* and *Dicranopteris*. (2) Pollen concentrations exhibit seasonal variations and a bimodal pattern, with the highest tree pollen concentrations from March to May and the second highest herb pollen concentrations from September to November. (3) The pollen assemblage is closely related to the flowering period of vegetation. (4) Meteorological factors significantly influence airborne pollen. Throughout the year, precipitation, temperature, and atmospheric pressure have a notable impact. In spring and autumn, the influence of meteorological factors is more pronounced. Special weather conditions such as typhoons and heavy rainfall reduce pollen concentrations.

## Keywords

Airborne Pollen, Meteorological Factors, Correlation Analysis, Zhanjiang City

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着城市化进程加快和人们对生活质量要求日益提高,城市绿化在改善城市环境和提升居民生活品质上发挥着重要作用。然而,绿化植物在调节城市微气候、美化城市景观的同时,部分植物释放的花粉在空气中传播,会引发特定人群的过敏性反应,俗称“花粉症”[1]。全面而深入的流行病学调查揭示了近年来花粉症患病率呈明显增长的现象[2]-[5]。由于不同地区的植被习性和气候条件不同,空气花粉的种类、浓度及飘散规律亦有所差别[6]。因此,空气花粉特征及其影响因素在近年来引起了国内外相关科研工作者的关注。

在国外,Stach 等用回归分析模型对波兰禾本科花粉进行了预测,并强调在授粉前几周或几个月的天气对草花粉产生的重要性[7]。Silva-Palacios 等通过花粉日浓度短期预测模型,发现温度是影响每日花粉预报的主要气象因素,降雨次之[8]。Papadogiannaki 等采用机器学习方法,准确预测了希腊塞萨洛尼基的杨属和栎属植物花粉浓度[9]。国外空气花粉研究主要集中于开发识别技术和模型以监测和预测花粉情况,以及气象因素对空气花粉的影响上,研究内容也随着采集技术和研究方法的更新进步不断深化。

在国内,关于空气花粉的研究可追溯到 20 世纪 60 年代,经实验发现可疑致敏花粉可引起呼吸道过敏。到 80 年代,由北京协和医院牵头,初步摸清我国 74 个城市空气中花粉分布情况,在中国首次出版

《中国气传致敏花粉调查》[10],这也推动了我国关于空气花粉的研究。中国不同区域因气候条件的差异,表现出了植被生长周期与花粉种类的多样化分布模式。从时间来看,中国气传花粉传播的高峰期为春季和秋季。从空间来看,北方地区的空气花粉种类以草本植物为主,如蒿属、豚草属、藜科、葎草科等;南方地区的空气花粉种类则以木本花粉为主,如松属、悬铃木属、桑属、木麻黄属等[1] [11]。然而,国内空气花粉研究开展主要在北京市[12]-[14]、呼和浩特市[15]和沧州市[16]等过敏性症状高发地区,以及广州市[17] [18]、佛山市[19] [20]和石家庄市[21]等经济较发达、人口密集的城市,研究覆盖范围有限,难以全面反映我国不同气候带、不同植被类型区的空气花粉分布特征。

在对各地花粉分布和传播特征有了深入了解后,我国学者开始进一步探究空气花粉相关因素。目前,对于空气花粉相关因素分析可基本分为两类,一类是气象因子,另一类是环境因素。研究发现适宜的温度有利于在植物授粉期促进花粉的生长[22],但当温度在 $18^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ 的范围内时,花粉含量随温度的升高而降低[14]。相对湿度通常同花粉浓度呈负相关,较高的湿度会抑制花粉传播[23]。稳定的风速是花粉传播的理想条件,但风速超过 $4\text{ m/s}$ 时或持续时间过久时会导致局地花粉浓度稀释[14]。气象因子分析为构建花粉地图[24]、花粉监测和预报的非线性回归神经网络模型提供重要条件[25] [26]。此外,环境因素中的空气污染物浓度[27]、沙尘天气和城市绿色空间规划[28]同样会影响空气花粉的种类、浓度和致敏性。可见,国内空气花粉研究范围不断扩大,旨在探明潜在的影响因素和提高空气花粉预测精度。

湛江市中心市区人口数量约 195.52 万人,地处低纬,气候温暖湿润,适合各种植物的生长和繁殖。目前有关湛江市空气花粉分布特征及其与气象因子关系的研究资料并不多,仅陈碧珊等、宋军霞等对 2015 年的空气花粉进行过研究[29] [30],时隔 10 年,湛江市不仅整体气候条件发生了变化,而且绿化植物种类与规划建设也有所改变。由于空气中的花粉组成状况和散布规律不仅影响大气质量,还可能造成花粉症高发,影响居民身心健康。因此,调查新时期湛江市空气花粉组成状况,对于建设绿色健康的城市环境、完善我国南方地区空气花粉研究以及探究气候变化对花粉的影响等具有重要的科学和现实意义。本研究以湛江市中心市区为研究区,通过空气收集器收集 2023 年 8 月~2024 年 8 月的花粉样品,并同步收集相关气象数据,使用 SPSS 和 Tilia 等软件进行分析研究,旨在探明湛江市中心城区空气中花粉的种类、不同季节的消长规律及其与气象因子的关系,分析不同类型空气花粉对气象因子的响应程度,以期更全面地了解湛江市空气花粉污染的状况,为城市绿化合理规划和花粉症的预防提供科学借鉴。

## 2. 研究区概况与方法

### 2.1. 研究区概况

湛江市位于广东省西南部,地处东经 $109^{\circ}40'\sim 110^{\circ}58'$ ,北纬 $20^{\circ}13'\sim 21^{\circ}57'$ 之间,东濒南海,西临北部湾。湛江位于热带季风气候区,终年受海洋调节,形成了高温多雨的海洋性气候特征。湛江市年内降水分布不均,4~9 月为多雨季,10 月~次年 3 月为干季,6 月~10 月南海洋面容易生成热带气旋,登陆或过境时的强风暴雨对植株倒伏和折断、病虫爆发和植被群落演替等产生重要影响。在植被方面,湛江分布着大量热带和亚热带植物,常见的植物种类有大王椰(*Roystonea regia*)、大叶榕(*Ficus altissima*)、槟榔(*Areca catechu*)、凤凰木(*Delonix regia*)、小叶紫薇(*Lagerstroemia parviflora*)、木棉(*Bombax ceiba*)、马尾松(*Pinus massoniana*)、桂花(*Osmanthus fragrans*)、波罗蜜(*Artocarpus heterophyllus*)、苏铁(*Cycas revoluta*)、米仔兰(*Aglaia odorata*)、夹竹桃(*Nerium oleander*)和野菊(*Chrysanthemum indicum*)等。

### 2.2. 样品采集与处理

#### 2.2.1. 空气花粉数据采集

空气花粉的采集方法一般分为重力法和体积法,前者利用重力采样较为方便,但易吸附大量灰尘,

同时花粉沉积会因风力增强而减少；后者利用气流吸附花粉，可连续工作数日，拓宽采样周期。为收集一定时间内精确的花粉样品，本研究采用基于体积法的空气收集器(TSP 大流量空气收集器)对空气花粉进行收集，其工作原理是使一定体积的空气恒速通过已知质量的滤膜，悬浮于空气中的颗粒物被阻留在滤膜上，根据滤膜增加的质量与通过滤膜的体积确定空气中颗粒物的质量浓度。本研究将大流量花粉收集器放置于四周开阔无遮挡物阻挡的岭南师范学院物理楼顶层，以7天为时间单位，连续收集2023年8月~2024年8月的花粉，1个样品为7天内连续收集的花粉，共收集53个空气花粉样品。

### 2.2.2. 花粉实验室处理

本次研究使用氟氯酸法提取花粉并制作玻片，实验步骤如下：首先，取一半样品(约1.7g)装入50ml离心管，加入30ml氢氟酸(40%)浸泡一晚(或8小时)；接着清洗氢氟酸，加水搅拌，离心4次，加入石松孢子片(27,560粒/片)，加入30ml盐酸(10%)浸泡一晚；清洗盐酸，加水搅拌后离心4次；加入30ml氢氧化钾(15%)，80℃水浴30分钟，然后清洗样品加水搅拌，离心2次；使用1μm的网超声波过筛，过完后装15ml离心管，若杂质仍然较多则过筛第二次；最后，加入酒精离心，倒扣晾干，加入3滴甘油，制片。空气花粉样品使用NikonE200显微镜进行鉴定和统计，花粉种类鉴定参考《中国气传花粉和植物彩色图谱》[31]、《中国热带亚热带被子植物花粉形态》[32]、《中国植物花粉形态》(第二版)[33]及《中国气传和致敏花粉》[22]。

## 2.3. 数据处理与分析

### 2.3.1. 花粉数据计算

(1) 花粉百分比含量(%)是指每种类型的孢粉数字统计在孢粉总数中所占的比值，它常被用于花粉分析研究中，通过不同样品花粉百分含量分析，可以了解植被类型和空气花粉的传播情况，其计算公式是：

$$A = n/N \times 100\% \quad (1)$$

其中： $A$ 是某一科属花粉在某个样品中的百分含量(%)； $n$ 是某一科属的花粉统计数量(粒)； $N$ 是某个样品中所有科属的花粉总量(粒)。

(2) 花粉浓度(粒/m<sup>3</sup>)是指本研究采用石松孢子片剂方法，即用外加已知数量(27,637粒/片)石松孢子片剂的方法，计算孢粉绝对浓度。在气象学中结合气象数据能研究花粉传播与气象条件的关系，其计算公式是：

$$P = L/M \times (N/S) \quad (2)$$

其中： $P$ 是花粉浓度(粒/m<sup>3</sup>)； $L$ 是添加到样品中的石松孢子数量(粒)； $M$ 是样品中统计出的石松孢子数量(粒)； $N$ 是样品中某科属花粉的数量(粒)， $S$ 是空气体积(m<sup>3</sup>)。

此外，采用Tilia3.0.3软件制作孢粉百分比图和孢粉浓度图，并在CorelDRAW14.0软件中进行编辑和优化。

### 2.3.2. 气象数据处理

本研究气象数据来源于中国气象科学数据共享服务网(<https://data.cma.cn/>)，在调查空气花粉期间，同步收集了自2023年8月至2024年8月湛江市每日的气象参数，具体涉及气温、降雨量、相对湿度、风速与风向等核心指标。基于样本收集的时间频率，计算出降雨量的累计总额，并进一步计算其他关联变量的平均值。

### 2.3.3. 统计学分析

为进一步分析气象因素(降水量、气温、风速、气压与相对湿度)对植物花粉季花粉产量的影响，使用SPSS27.0软件对所选主要花粉种属的花粉季浓度与相应气象数据进行斯皮尔曼(Spearman)相关系数分析。

### 3. 结果与分析

#### 3.1. 全年空气花粉含量的总体特征

在采集的 53 个空气样本中, 共鉴定出 115 种不同类型的花粉, 2023 年 8 月-2024 年 8 月间为湛江地区主要空气孢粉类型百分含量分布如图 1 所示。其中, 乔木植物花粉类型共计 45 个, 百分含量在 0%~76.8%之间, 平均含量为 6.7%; 主要花粉类型为: 松属、三尖杉属、桑科、桉属、槟榔属、栎属 - 常等。其中松属(*Pinus*) (0%~43.9%, 平均 6.4%)、三尖杉属(*Cephalotaxus*) (0%~23.6%、平均 1.2%)、桑科(*Moraceae*) (0%~76.9%, 平均 20.4%)、桉属(*Eucalyptus*) (0%~16.3%, 平均 2.9%)、槟榔属(*Areca*) (0%~46.1%, 平均 1.9%)、栎属 - 常(*Quercus evergreen*) (0%~23.2%, 平均 1.4%)。灌木花粉类型 31 个, 百分含量在 0%~58.4%之间, 平均含量为 7.1%, 主要花粉类型为: 榛属、野桐属、山麻杆属、棕榈科等。其中榛属(*Corylus*) (0%~58.4%, 平均 4.9%)、野桐属(*Mallotus*) (0%~40.9%, 平均 2.3%)、山麻杆属(*Alchornea*) (0%~44.4%, 平均 3.1%)、棕榈科(*Arecaceae*) (0%~12.2%, 平均 1.4%)。草本花粉类型 27 个, 百分含量在 0%~60%之间, 平均含量为 7.1%。主要花粉类型为菊科 - 刺型、苍耳属、禾本科 < 34  $\mu\text{m}$  等。其中菊科 - 刺型(*Asteraceae-Aster*) (0%~31.1%, 平均 4.6%)、苍耳属(*Xanthium*) (0%~60.4%, 平均 4.5%)、禾本科 < 34  $\mu\text{m}$  (*Poaceae < 34 \mu\text{m}*) (0%~47.2%, 平均 13.2%)。蕨类孢子类型 11 个, 百分含量在 0%~8.7%之间, 平均含量为 1.4%。主要花粉类型为里白属和芒萁属。其中里白属(*Diplazium*) (0%~52.2%, 平均 8.8%)、芒萁属(*Dicranopteris*) (0%~8.6%, 平均 0.9%)。

#### 3.2. 不同季节空气花粉浓度的变化特征

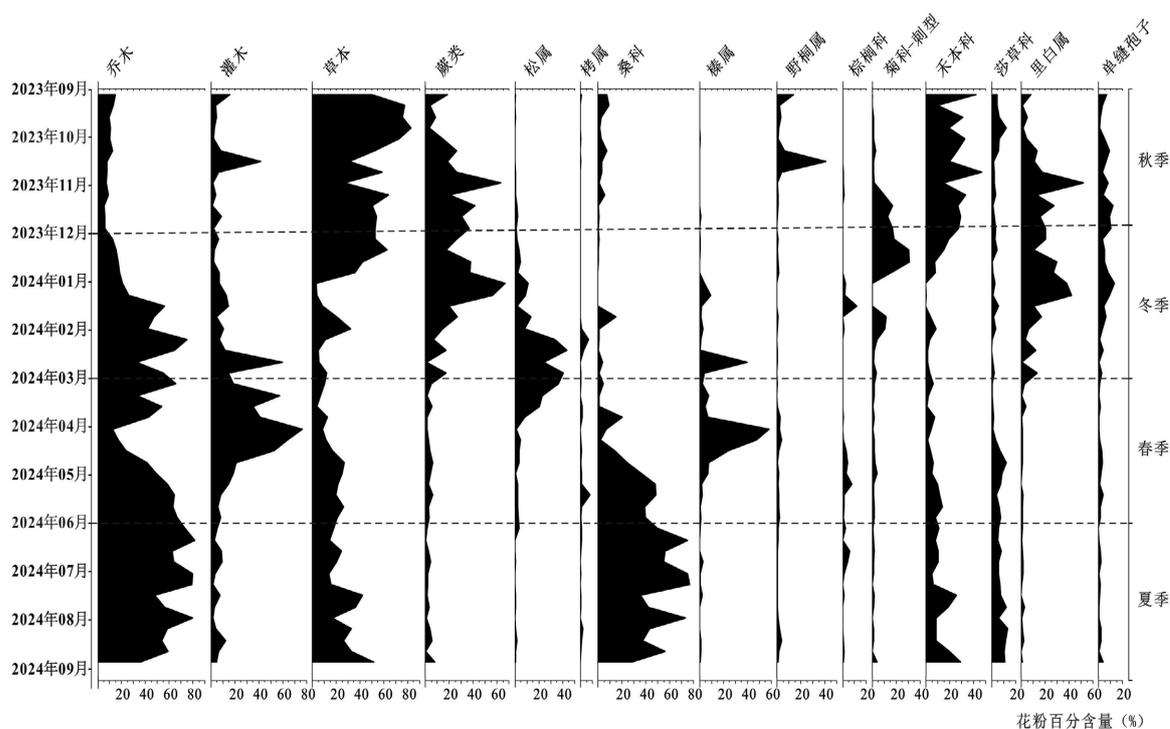


Figure 1. Graph of the changes in the percentage content of different types of airborne pollen

图 1. 不同类型空气花粉百分含量变化图

2023 年 8 月~2024 年 8 月空气花粉浓度变化如图 2 所示, 从图 2 可以看出, 花粉的总浓度为 527.3 粒

/m<sup>3</sup>，不同季节花粉总浓度特征变化显著，主要表现为春季最大，夏季和秋季次之，冬季最少。

春季花粉总浓度达到全年最高，为 171.5 粒/m<sup>3</sup>，平均浓度为 13.2 粒/m<sup>3</sup>，主要由乔木花粉构成，但不同种类的乔木在花粉浓度达到峰值的时间上表现出了明显的异质性特征。初春(3~4 月)以松属和桑科为主，晚春(5~6 月)主要为桑科和桉属；灌木达到了全年峰值，主要以榛属和山麻杆属为主，榛属达到了全年浓度的最高值；草本花粉浓度相对较低，以禾本科和莎草科为主；蕨类花粉总浓度为全年最低值。

夏季花粉总浓度为 127.7 粒/m<sup>3</sup>，平均浓度为 9.8 粒/m<sup>3</sup>，主要为乔木花粉，达到全年峰值 95.9 粒/m<sup>3</sup>。乔木花粉以桑科为主，花粉浓度达到了全年最高值。草本花粉浓度较低，以禾本科和莎草为主。灌木和蕨类花粉浓度为全年最低值，仅为 4.5 粒/m<sup>3</sup> 和 2.6 粒/m<sup>3</sup>。

秋季总浓度为 134.6 粒/m<sup>3</sup>，平均浓度为 10.4 粒/m<sup>3</sup>，以草本为主并达到全年峰值为 73.2 粒/m<sup>3</sup>，类型以菊科 - 刺型、苍耳属、禾本科和莎草科为主。乔木和灌木花粉浓度较低，乔木达到全年最低值，仅为 8.6 粒/m<sup>3</sup>。蕨类植物花粉浓度虽然不高，但在秋季达到了最高值即 26.9 粒/m<sup>3</sup>，以里白属为主。

冬季花粉总浓度为 93.7 粒/m<sup>3</sup>，平均浓度为 7.2 粒/m<sup>3</sup>，各类花粉浓度值较低，灌木、草本和蕨类的花粉浓度差值小。花粉类型主要为松属、榛属、菊科 - 刺型和里白属。冬季松属增加明显，菊科 - 刺型花粉浓度在初冬达到最高值，此后呈减少趋势。

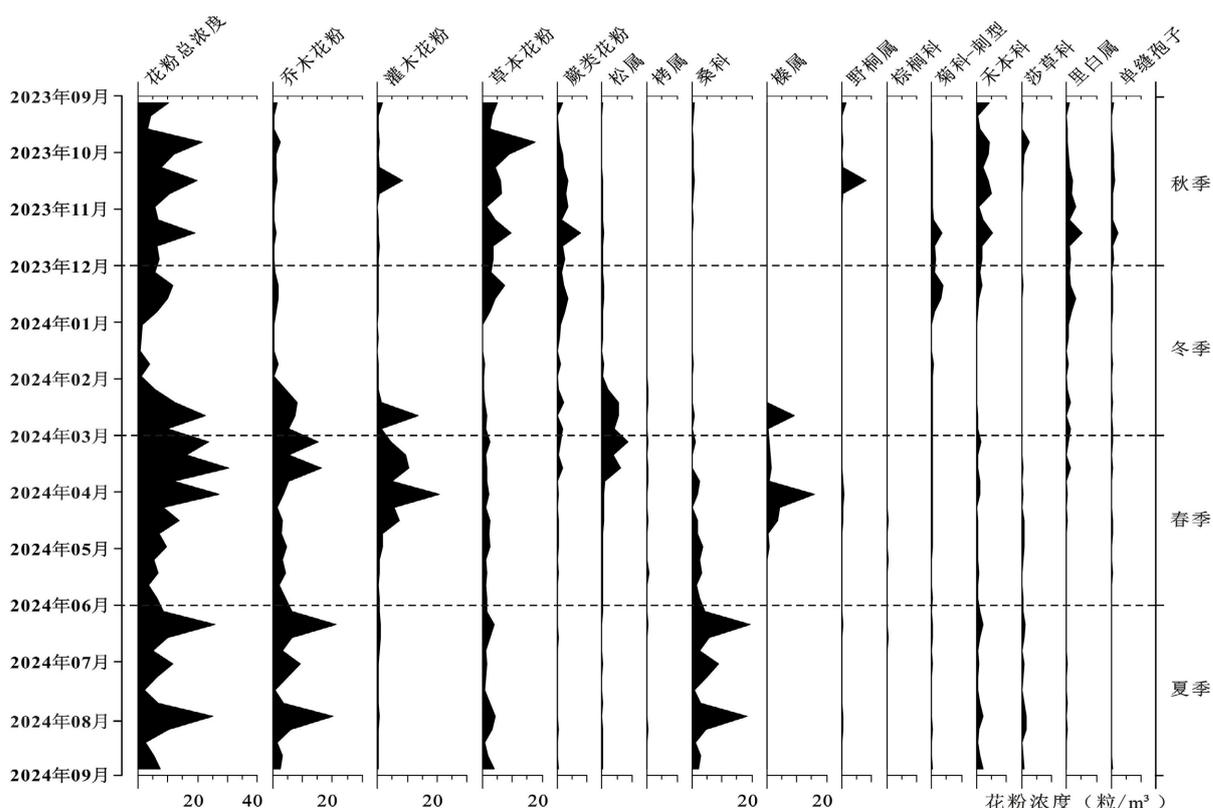


Figure 2. Graph of air pollen concentrations in different seasons  
图 2. 不同季节空气花粉浓度图

### 3.3. 空气花粉组合与植被的关系

空气花粉的含量受到特定环境因素的影响，且因空气花粉始终来自于植物，空气花粉组合类型可以反映植物的花期。湛江市主要植物类型分布与花期如表 1 所示，松属和桑科花期是 4~5 月，因此春季

空气花粉浓度高。榛属花期一般是在 5~7 月，湛江所处位置纬度低，位于沿海地区，春季气温较高，花期较早且集中，因此榛属 4 月份花粉浓度达到了全年峰值。菊科 - 刺型的花粉浓度在秋季最高，与植物花期相契合。此外，空气花粉组合与植被分布密切相关，马尾松、大叶榕、小叶榕、槟榔树等植物在采样点有分布，为当地植物花粉。因此松科、桑科、和槟榔属等花粉浓度值较高，较好地反映当地的植被类型。少部分植物花粉如三尖杉科、桦木科和壳斗科等植物在采样点并未发现相对应植被，为区域花粉。松科和禾本科植物属于致敏花粉，花粉症患者可以根据植物花期调整出行计划，城市植被分布规划可以适当安排植物的种属和密度。

**Table 1.** Major plant types distribution and flowering periods in the central urban of Zhanjiang city

**表 1.** 湛江市区主要植物类型分布与花期

植物分布	植物类型	花粉类型	花期
出现在采样点的植物	松科	松属	4~5 月
	桑科	波罗蜜属和榕属	4~5 月
	棕榈科	槟榔属	3~8 月
	菊科	蒲公英属和苍耳属等	4~9 月
	禾本科<34 μm	结缕草属	5~6 月
	莎草科	莎草属	7~10 月
未出现在采样点的植物	三尖杉科	三尖杉属	6 月
	桦木科	桦木属	3 月下旬~4 月上旬
	壳斗科	栲属	4~6 月/8~10 月
	桃金娘科	桉属	9~10 月
	桦木科	榛属	5~7 月
	大戟科	野桐属	6~7 月

### 3.4. 气象因子对全年空气花粉浓度的影响

根据空气花粉百分含量与浓度变化，本文选取了 25 个主要花粉类型(占总百分量的 93.24%)，探讨空气花粉对气象因子的响应，采用 SPSS27.0 软件对 25 个主要花粉类型与湛江市对应时段的 5 种气象因子进行 Spearman 相关性分析。结果如表 2 所示，全年空气花粉组合受降水量、气温和气压影响明显。其中降水量与桑科、桉属和莎草科呈极显著正相关，与松属、桦木属、槟榔属、里白属和三缝孢子呈极显著负相关；气温与桑科、桉属、野牡丹科、棕榈科、禾本科和莎草科呈极显著正相关，与松属、三尖杉属、桦木属、槟榔属、菊科 - 刺型、里白属、芒萁属和三缝孢子呈极显著负相关；松属、桦木属、槟榔属、菊科 - 刺型、苍耳属、芒萁属、单缝孢子和三缝孢子与气压呈极显著正相关，与栲属、桑科、桉属、野桐属、野牡丹科、棕榈科和莎草科呈极显著负相关。

**Table 2.** The correlation analysis results between pollen concentrations of main pollen types and meteorological factors

**表 2.** 主要花粉类型花粉浓度与气象因子的相关分析结果

花粉类型	降水量	相对湿度	气温	气压	风速
松属	-0.382**	0.065	-0.648**	0.466**	0.220

续表

三尖杉属	-0.210	0.196	-0.346*	0.216	0.219
桦木属	-0.528**	-0.004	-0.585**	0.529**	0.323*
栲属	0.084	0.018	0.168	-0.298*	-0.117
桑科	0.480**	0.099	0.766**	-0.809**	-0.174
桉属	0.532**	0.005	0.647**	-0.672**	-0.431**
槟榔属	-0.476**	-0.037	-0.599**	0.574**	0.208
榛属	-0.106	0.190	-0.135	0.009	0.294*
野桐属	0.116	-0.038	0.246	-0.279*	-0.193
野牡丹科	0.242	0.128	0.430**	-0.411**	-0.093
棕榈科	0.132	0.022	0.332*	-0.295*	0.024
菊科 - 刺型	-0.268	-0.242	-0.414**	0.469**	0.000
苍耳属	0.086	0.004	-0.209	0.324*	0.011
禾本科 < 34 $\mu\text{m}$	0.206	-0.191	0.369**	-0.226	-0.388**
莎草科	0.398**	0.045	0.770**	-0.729**	-0.310*
里白属	-0.411**	-0.466**	-0.483**	0.596**	0.007
芒萁属	-0.180	-0.289*	-0.456**	0.525**	0.038
单缝孢子	-0.263	-0.569**	-0.266	0.375**	-0.012
三缝孢子	-0.351*	-0.331*	-0.321*	0.396**	-0.191

注: \*\*在 0.01 水平显著相关(双侧检验); \*在 0.05 水平显著相关(双侧检验)。

### 3.5. 气象因子对不同季节空气花粉浓度的影响

由于不同季节不同花粉类型浓度变化显著,为深度挖掘驱动此类变化的气象因子,对 25 类主要花粉浓度的数据与对应季节的气象变量进行了 Spearman 相关分析,结果显示,湛江市不同季节空气中的花粉浓度表现出与特定气象指标高度关联的变动规律。

依据表 3 所示,经过对春季 25 种核心花粉种类与 5 种气象因子(涵盖降水量、相对湿度、平均气温、大气压力和风速)的相关性分析,明确指出这些气象因子对大气中花粉含量具有显著的调控作用。然而,不同花粉类型的浓度变动在应对上述气象变量时展现出显著的差异。松属、桦木属、栎属-常、榛属和里白属与降水呈极显著负相关,没有正相关性;大王椰属与相对湿度呈极显著正相关,单缝孢子与相对湿度呈极显著负相关;气温与桑科、野牡丹科、棕榈科和莎草科呈极显著正相关,与松属呈极显著负相关;松属、三尖杉属、栎属-常和山麻杆属与气压呈正相关,藜科、莎草科与气压呈负相关。春季花粉总浓度最高,春季气温回升,平均气温达到了 25.13 $^{\circ}\text{C}$ ,一定程度上促进了大部分植物开花。在主要花粉类型中有大约 11 个种属如松属、三尖杉属、桦木属、槟榔属和栎属等植物处于植物花期,增加了空气的花粉浓度。但是由以上结果可以表明降水量在一定程度上影响了乔木花粉浓度。春季湛江降水量达到 559.6 mm,降水时,雨水会直接冲刷空气中的花粉,使花粉附着水重量增加,受重力影响沉降至地面。此外,雨水可能会使花粉吸水破裂或失去活性,进而导致空气中的花粉浓度降低。因此,虽然春季花粉浓度值最高,但是乔木花粉峰值主要出现在春末夏初降水较少的时期。

夏季乔木空气花粉与气象因子相关性不显著,仅桉属与气压呈负相关(表 4);灌木空气花粉如蓖麻属

与风速呈正相关，野桐属与风速呈负相关；草本植物与气象因子也没有相关性；蕨类植物仅单缝孢子与相对湿度呈负相关。夏季花粉浓度值相对较高，但是主要由 4 个种属花粉构成，即桑科、桉属、禾本科和莎草科，这四类花粉占夏季花粉 91%，其余花粉浓度低。夏季降水量最多、相对湿度高，不利于花粉散布，这可能是导致夏季大部分花粉浓度低的主要原因。桉属的开花期是春末夏初，禾本科和莎草科的开花期主要在夏季，而桑科花粉浓度高峰期一般分布在春季，但是在本次采样结果中桑科占夏季花粉 60%，其主要原因还需进一步探讨。

**Table 3.** The correlation analysis results between pollen concentrations of main pollen types in spring and meteorological factors

**表 3.** 春季主要花粉类型花粉浓度与气象因子的相关分析结果

花粉类型	降水量	相对湿度	气温	气压	风速
松属	-0.637*	0.154	-0.615*	0.665*	0.203
三尖杉属	-0.410	0.046	-0.454	0.630*	0.199
桦木属	-0.821**	-0.090	-0.196	0.425	0.040
桑科	0.385	-0.462	0.665*	-0.544	-0.060
大王椰属	0.288	0.577*	-0.424	0.317	-0.226
栎属 - 常	-0.604*	0.137	-0.495	0.720**	0.357
榛属	-0.808**	0.027	0.000	0.352	0.379
山麻杆属	-0.487	0.267	-0.426	0.616*	0.267
野牡丹科	-0.370	-0.287	0.657*	-0.403	0.144
棕榈科	-0.182	-0.539	0.726**	-0.448	-0.107
苍耳属	0.271	0.039	-0.055	0.249	0.508
藜科	-0.314	-0.468	0.523	-0.564*	-0.388
莎草科	-0.093	-0.396	0.797**	-0.665*	-0.044
里白属	-0.692**	-0.302	-0.220	0.291	0.104
单缝孢子	-0.346	-0.681*	0.192	-0.115	0.192
三缝孢子	0.032	-0.133	0.035	-0.035	-0.257

注：\*\*在 0.01 水平显著相关(双侧检验)；\*在 0.05 水平显著相关(双侧检验)。

**Table 4.** The correlation analysis results between pollen concentrations of main pollen types in summer and meteorological factors

**表 4.** 夏季主要花粉类型花粉浓度与气象因子的相关分析结果

花粉类型	降水量	相对湿度	气温	气压	风速
桉属	0.187	0.148	-0.192	-0.599*	-0.506
大王椰属	-0.248	-0.206	0.318	-0.284	0.053
栎属 - 常	-0.353	0.069	0.118	-0.301	-0.430
榛属	0.270	0.063	-0.124	0.457	0.182
野桐属	0.137	0.198	-0.214	-0.286	-0.845**

续表

山麻杆属	-0.295	0.000	0.174	-0.081	-0.336
蓖麻属	-0.169	-0.335	0.316	0.235	0.715**
棕榈科	-0.193	-0.050	0.132	0.127	0.061
菊科 - 刺型	-0.549	-0.308	0.407	-0.077	0.088
苍耳属	-0.173	-0.006	0.012	0.394	0.344
禾本科 < 34 μm	0.088	0.187	-0.236	-0.154	-0.234
莎草科	-0.297	-0.291	0.258	-0.258	-0.352
里白属	-0.157	-0.289	0.250	-0.360	-0.003
单缝孢子	-0.505	-0.659*	0.533	0.082	0.019
三缝孢子	-0.263	-0.466	0.412	0.263	-0.045

注: \*\*在 0.01 水平显著相关(双侧检验); \*在 0.05 水平显著相关(双侧检验)。

秋季为一年中湛江空气花粉总浓度较高的季节, 在 25 个主要花粉类型中(表 5), 降水量与桑科、苍耳属的花粉浓度呈极显著正相关, 而与松属、栎属 - 常以及三缝孢子呈极显著负相关; 相对湿度与苍耳属呈极显著正相关, 与此相反, 相对湿度与松属、菊科 - 刺型和单缝孢子则呈极显著负相关; 桑科与气温呈极显著正相关, 松属、菊科-刺型和里白属与气温呈极显著负相关; 气压的变化对花粉分布影响同样明显, 其中松属、菊科 - 刺型和里白属与气压呈极显著正相关, 桑科、桉属与气压呈极显著负相关; 风速与棕榈科、藜科呈极显著正相关, 与三缝孢子呈负相关。前人对呼和浩特市空气花粉研究结果显示, 对草本植物而言, 适宜的温度与充足的降水是保障草本植物量的关键因素[34]。湛江地区秋季降水量较多达 840.4 mm, 平均气温为 25.2℃, 秋季草本花粉总浓度(包括苍耳属和禾本科)达到全年峰值, 苍耳属花粉对降雨量和气温的响应同样与前人研究结论一致。乔木、灌木和蕨类仅少数植物与气象因子相关, 这可能与花粉浓度较低有关。

由于冬季空气花粉总浓度最低, 主要花粉类型浓度与冬季气象因子相关性均较差, 只有对风速响应较为明显(表 6)。乔木中, 栲属种类的分布与降水量表现出明显的正向关联; 相比之下, 在蕨类植物类别中, 里白属物种的生长与相对湿度呈现明显的反向关联, 与此同时也与气压水平保持正向的相关性; 灌木只有棕榈科与气温呈正相关。前人研究结果显示风速对花粉浓度产生影响, 风力过小(风速 < 0.5 m/h)花粉粒飘散受限制, 收集到的空气花粉含量小, 风速(0.5 m/s~1.5 m/s)有利于花粉远扬, 空气花粉含量随之增大, 风力过大(风速 > 2.5 m/s)空气花粉含量值反而较小[35]。湛江冬季平均风速为 3.06 m/s, 这在一定程度上解释了桉属、菊科 - 刺型和禾本科与风速呈负相关。

**Table 5.** The correlation analysis results between pollen concentrations of main pollen types in autumn and meteorological factors

**表 5.** 秋季主要花粉类型花粉浓度与气象因子的相关分析

花粉类型	降水量	相对湿度	气温	气压	风速
松属	-0.596*	-0.566*	-0.614*	0.650*	0.137
桦木属	-0.386	-0.155	-0.309	0.386	-0.309
桑科	0.582*	0.129	0.553*	-0.724**	0.137
桉属	0.231	-0.201	0.531	-0.569*	0.022

续表

栎属 - 常	-0.598*	-0.469	-0.063	0.071	-0.472
野桐属	0.346	-0.171	0.270	-0.435	0.280
山麻杆属	-0.463	-0.386	-0.386	0.309	0.000
棕榈科	0.184	0.182	-0.140	0.248	0.553*
菊科 - 刺型	-0.478	-0.569*	-0.652*	0.713**	0.368
苍耳属	0.736**	0.710**	0.528	-0.534	0.121
藜科	0.060	-0.391	-0.110	0.209	0.571*
莎草科	0.143	-0.272	0.382	-0.404	0.088
里白属	-0.385	-0.481	-0.713**	0.773**	0.484
单缝孢子	-0.423	-0.825**	-0.468	0.435	0.198
三缝孢子	-0.602*	-0.169	0.136	-0.008	-0.663*

注: \*\*在 0.01 水平显著相关(双侧检验); \*在 0.05 水平显著相关(双侧检验)。

**Table 6.** The correlation analysis results between pollen concentrations of main pollen types in winter and meteorological factors

**表 6.** 冬季主要花粉类型花粉浓度与气象因子的相关分析

花粉类型	降水量	相对湿度	气温	气压	风速
松属	0.215	-0.027	-0.247	0.154	-0.060
三尖杉属	0.108	0.221	-0.114	0.007	-0.174
栲属	0.568*	0.158	-0.458	0.435	-0.469
桉属	0.432	-0.102	-0.413	0.362	-0.565*
槟榔属	0.381	0.033	0.214	0.038	-0.088
棕榈科	-0.055	0.022	0.561*	-0.377	-0.080
菊科 - 刺型	0.450	-0.127	-0.182	0.188	-0.597*
藜科	0.436	0.110	0.187	-0.203	-0.462
禾本科 < 34 μm	0.379	0.028	0.025	-0.036	-0.729**
禾本科 > 34 μm	0.172	0.138	-0.022	-0.061	-0.558*
莎草科	0.365	0.247	0.187	-0.225	-0.445
里白属	0.359	-0.577*	-0.434	0.566*	-0.549
芒萁属	0.436	-0.236	-0.060	0.181	-0.429
三缝孢子	0.249	-0.368	-0.451	0.357	-0.401

注: \*\*在 0.01 水平显著相关(双侧检验); \*在 0.05 水平显著相关(双侧检验)。

## 4. 讨论

### 4.1. 空气花粉种类与数量的区域差异

空气花粉作为植物繁殖的重要载体,其在大气中的传播与分布不仅是生态系统物质循环的关键环节,而且是影响人类健康与生态系统的重要因素。受地理环境、植被类型和人类活动等多因素的影响,空气

花粉的种类和数量存在显著的区域性差异。

东北地区的空气花粉通量研究主要在长白山地区,花粉组合以乔木占主要优势,对植被的代表性具有重要指示意义,其花粉通量年际波动较大,2011年总花粉通量最高为590,884粒/( $\text{cm}^2 \cdot \text{a}$ ),2010和2012总花粉通量较低,分别是284,662粒/( $\text{cm}^2 \cdot \text{a}$ )和301,157粒/( $\text{cm}^2 \cdot \text{a}$ ) [36]。华北地区的空气花粉研究区主要集中在北京和山西等地区,北京城区春季以木本植物为主,如柏属、悬铃木、杨树、柳树和榆树,秋季则以草本植物为主,包括蒿属、葎草、藜科等植物,花粉总量为76,164粒[37]。北京不同地区空气花粉优势种类也有差异,这与所在区域植被分布有直接关系[12]。山西地区空气花粉以草本植物花粉占优势,揭示了草原的植被特点[38]。西北地区的空气花粉组合早春以乔木花粉榆属为主,夏秋冬季节草本花粉如蒿属、藜科和禾本科占优势[39],西北地区年平均花粉通量最低值为22,647粒/年,最高值为34,543粒/年[40]。

南方地区空气花粉研究区集中在湖北、广东和海口地区,其中以广东地区为主并将探明致敏花粉的种类为主要内容,花粉组合为乔木、灌木、草本和蕨类。佛山市致敏空气花粉调查结果显示松属、木黄科和苏木科占总花粉数50%以上[19]。深圳致敏花粉类型以乔木为主,其次是草本科,最后是灌木科,其中豆科、禾本科和松科是致敏花粉种属前三的植物科[41]。广州地区主要致敏花粉来自乔木植物,野苋菜、苦楝和木麻黄是引起花粉症的主要植物[18]。湛江地区致敏花粉类型丰富,同样以乔木为主,包括桑科、松属、桉属等。其次为草本花粉,主要为禾本科和莎草科。蕨类花粉由于浓度较低,致敏性相对较弱。国内致敏花粉的传播一般集中在春季和秋季[1],湛江地区春季致敏花粉组合类型多且浓度高,需要加强防护;秋季致敏花粉中草本花粉占据优势,乔木花粉浓度达到全年最低,因此对禾本科、菊科-刺型、苍耳属、莎草科等草本花粉过敏的人群需要重点防护。总的来说,南方空气花粉的总量较北方少,花粉类型差异亦较大,这可能与天气湿度大导致花粉不易传播以及城市绿化植物选择有关。

#### 4.2. 特殊天气对空气花粉散布的影响

湛江位于北纬 $20^{\circ}13' \sim 21^{\circ}57'$ 之间的沿海地区,属于热带季风气候,全年受海洋气候的影响显著,冬季气候宜人,夏季则较为凉快,展现出充足的热量与降水,特别是在夏季和秋季,常遭受热带风暴的侵袭。在2023年9月2日~5日受台风“苏拉”和“海葵”残余环流影响,出现大风和强降水天气,相对湿度由78.5%增加到92%,采样点空气花粉总浓度由10.2粒/ $\text{m}^3$ 降到4.4粒/ $\text{m}^3$ 。此外,短期降水(日降水量 $\geq 50.0 \text{ mm}$ )使空气花粉丰度值增高,如2024年10月14日~21日短期强降水期间,花粉浓度由16.2粒/ $\text{m}^3$ 上升至30.2粒/ $\text{m}^3$ 再降至12.1粒/ $\text{m}^3$ 。其中三尖杉属、桑科、栎属-常、山麻杆属、禾本科、里白属受强降水影响明显,虽然花粉浓度变化情况不同,但均有表现增加的趋势。由此可见,受特殊天气的影响,湛江市中心区夏秋之间花粉浓度变化较为明显。

### 5. 结论

(1) 湛江市中心城区空气花粉类型丰富,各类型花粉含量存在差异。乔木花粉组合以松属、桑科等为主;灌木花粉以榛属和野桐属等为主;草本花粉中禾本科和菊科-刺型占比较大;蕨类孢子则以里白属为主。

(2) 2023年8月~2024年8月期间,空气花粉浓度呈季节性变化和双峰型特征,3~5月为高峰,主要是乔木花粉,如松属、三尖杉属、栲属等;9~11月为次高峰,主要是草本花粉,如禾本科、苍耳属和菊科-刺型等。春季花粉浓度明显高于其他季节,夏季和秋季花粉浓度相近。

(3) 空气花粉组合与植被花期紧密相关。松属和桑葚花期在4~5月,故其花期在春季浓度高;榛属因湛江地理位置,花期提前,4月花粉浓度达到全年峰值;菊科-刺型花粉浓度在秋季最高,与花期吻合。

(4) 空气花粉受气象因素影响显著, 全年受降水、气温和气压影响明显。春季主要受降水量、相对湿度、气温等影响; 夏季部分灌木花粉浓度与风速相关; 秋季草本花粉与降水量和气温有关; 冬季与气象因子相关性较差。此外, 特殊天气事件明显影响花粉浓度, 台风引发的强风和强降水促使花粉浓度降低, 但是短时强降雨会使花粉浓度呈现出先上升后下降的动态变化特征。

## 基金项目

2023 年省级大学生创新创业训练计划项目资助(S202310579006)。

## 参考文献

- [1] 江伟明, 潘睿聪, 罗传秀, 等. 城市空气花粉的研究进展[J]. 生态科学, 2018, 37(6): 199-208.
- [2] 欧阳昱晖, 张罗. 花粉过敏的防御和治疗[J]. 中国耳鼻咽喉头颈外科, 2020, 27(4): 177-179.
- [3] 宁慧宇, 王洪田, 陈艳蕾, 等. 北京城区春季花粉与过敏性疾病就诊比例分析[J]. 中国耳鼻咽喉头颈外科, 2021, 28(2): 98-100, 104.
- [4] Qi, W., Bian, S., Li, L. and Guan, K. (2025) Changes of Pollen Allergens in Northern China. *International Archives of Allergy and Immunology*. <https://doi.org/10.1159/000547301>
- [5] Khaiwal, R., Akshi, G. and Suman, M. (2022) Pollen Allergy: Developing Multi-Sectorial Strategies for Its Prevention and Control in Lower and Middle-Income Countries. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, **242**, Article ID: 113951.
- [6] 叶世泰. 变态反应学[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 198-200.
- [7] Stach, A., Smith, M., Prieto Baena, J.C. and Emberlin, J. (2008) Long-Term and Short-Term Forecast Models for Poaceae (Grass) Pollen in Poznań, Poland, Constructed Using Regression Analysis. *Environmental and Experimental Botany*, **62**, 323-332. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.10.005>
- [8] Silva-Palacios, I., Fernández-Rodríguez, S., Durán-Barroso, P., Tormo-Molina, R., Maya-Manzano, J.M. and Gonzalo-Garjón, Á. (2015) Temporal Modelling and Forecasting of the Airborne Pollen of Cupressaceae on the Southwestern Iberian Peninsula. *International Journal of Biometeorology*, **60**, 297-306. <https://doi.org/10.1007/s00484-015-1026-6>
- [9] Papadogiannaki, S., Kontos, S., Parliari, D. and Melas, D. (2023) Machine Learning Regression to Predict Pollen Concentrations of Oleaceae and Quercus Taxa in Thessaloniki, Greece. *Environmental and Earth Sciences Proceedings*, **26**, Article 2. <https://doi.org/10.3390/environsciproc2023026002>
- [10] 汤蕊, 王良录, 尹佳, 等. 花粉症的中国历程[J]. 中国科学: 生命科学, 2021, 51(8): 901-907.
- [11] 李全生, 江盛学, 李欣泽, 等. 中国气传致敏花粉的季节和地理播散规律[J]. 解放军医学杂志, 2017, 42(11): 951-955.
- [12] 孙爱芝, 张海红, 李雪银, 等. 北京市北部空气花粉类型及浓度变化特征研究[J]. 地理科学, 2023, 43(4): 737-744.
- [13] 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.
- [14] 姜江, 乔媛, 任成英, 等. 北京气传花粉浓度变化特征及其与气象条件的关系[J]. 气象与环境学报, 2023, 39(5): 91-98.
- [15] 姬佳琪, 郭春燕, 王式功, 等. 呼和浩特夏半年花粉污染浓度变化特征及其与天气型关系研究[J]. 中国环境监测, 2025, 41(5): 175-183.
- [16] 刘卫卫, 温博深, 苏小明, 等. 沧州市气传花粉检测与过敏性鼻炎就诊情况研究[J]. 中国耳鼻咽喉头颈外科, 2024, 31(10): 652-656.
- [17] 黄雪琨, 熊国威, 周琪琳, 等. 广州市石牌地区 1986-1987 年与 2021-2022 年气传花粉对比研究[J]. 科学通报, 2026, 71(Z1): 1144-1151.
- [18] 熊国威, 成昀, 粟静, 等. 基于“形色 APP”筛选广州中心城区致敏花粉植物[J]. 中山大学学报(医学科学版), 2022, 43(1): 27-34.
- [19] 王涛, 刘林菁, 黄澜, 等. 广东省佛山地区春季空气花粉种类调查[J]. 热带医学杂志, 2018, 18(6): 819-821.
- [20] 王涛, 刘林菁, 黄澜, 等. 佛山地区春季气传致敏花粉特点的研究[J]. 现代医学, 2018, 46(7): 802-804.
- [21] 李英, 李月丛, 吕素青, 等. 石家庄市空气花粉散布规律及与气候因子的关系[J]. 生态学报, 2014, 34(6): 1575-1586.

- [22] 叶世泰, 张金谈, 乔秉善, 等. 中国气传和致敏花粉[M]. 北京: 科学出版社, 1988: 29-80.
- [23] 刘艳, 孙磊, 路永红, 等. 成都市城区气传花粉飘散与气象要素的相关性研究[J]. 实用医院临床杂志, 2014, 11(4): 235-238.
- [24] 关凯, 王良录. 从花粉症看过敏性疾病的整体诊疗策略[J]. 山东大学耳鼻喉眼学报, 2019, 33(1): 13-19.
- [25] 卞萌, 郭树毅, 王威, 等. 融合植被遥感数据的北京市次日花粉浓度预测[J]. 地球信息科学学报, 2021, 23(9): 1705-1713.
- [26] 刘宇通, 王汶. 结合百度指数和遥感数据的花粉过敏研究[J]. 遥感信息, 2021, 36(6): 113-119.
- [27] 卢琪, 吴越, 张启航, 等. 空气污染对花粉症的影响及其机制研究进展[J]. 环境与职业医学, 2024, 41(1): 103-109.
- [28] 向明珠, 张国明, 孙煦然, 等. 花粉过敏的环境因素[J]. 环境卫生学杂志, 2022, 12(12): 903-908, 914.
- [29] 宋军霞, 陈碧珊. 湛江市中心区气传花粉调查[J]. 环境与健康杂志, 2018, 35(6): 539-542, 564.
- [30] Chen, B.S., Li, B., Chen, C.X., et al. (2020) Relationship between Airborne Pollen Assemblages and Major Meteorological Parameters in Zhanjiang, South China. *PLOS ONE*, 15, e0240160. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240160>
- [31] 乔秉善. 中国气传花粉和植物彩色图谱[M]. 北京: 中国协和医科大学出版社, 2005: 1-483.
- [32] 中国科学院植物研究所古植物室孢粉组. 中国热带亚热带被子植物花粉形态[M]. 北京: 科学出版社, 1982: 1-453.
- [33] 王伏雄, 钱南芬, 张玉龙, 等. 中国植物花粉形态[M]. 北京: 科学出版社, 1995.
- [34] 杜伟航. 2021-2022 年呼和浩特市空气花粉散布特征及其与气象因素的关系[D]: [硕士学位论文]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2023.
- [35] 朱颖. 北京城乡梯度典型空气污染物与花粉浓度时空特征及其气象影响因素[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 云南大学, 2022.
- [36] 李琳, 李宜垠. 长白山阔叶红松林花粉通量的时空变化及其与气象因子的关系[J]. 第四纪研究, 2021, 41(6): 1749-1763.
- [37] 王晓艳, 田宗梅, 宁慧宇, 等. 北京城区气传花粉分布与过敏性疾病就诊关系分析[J]. 临床耳鼻咽喉头颈外科杂志, 2017, 31(10): 757-761.
- [38] 王俊婷, 吕素青, 李泽涛, 等. 山西浑源地区空气花粉组合特征及其与气候因子的关系[J]. 第四纪研究, 2016, 36(3): 542-552.
- [39] 蒋素雪. 兰州地区空气孢粉组合特征及特殊天气的影响[D]: [硕士学位论文]. 石家庄: 河北师范大学, 2011.
- [40] 薛美玲, 郝秀东, 欧阳绪红, 等. 中国近 25 年花粉通量研究进展[J]. 南宁师范大学学报(自然科学版), 2023, 40(4): 171-177.
- [41] 张曼琳, 潘妮, 赵娟娟, 等. 城市花粉致敏植物种类构成、分布与潜在危害评估——以深圳市为例[J]. 生态学报, 2021, 41(22): 8746-8757.