

郭庆元,罗贤,陈敬国,等. 西安城区花粉浓度变化规律与气象因子的关联性研究[J]. 陕西气象,2026(2):105-110.

文章编号:1006-4354(2026)02-0105-06

西安城区花粉浓度变化规律与气象因子的关联性研究

郭庆元¹,罗贤¹,陈敬国²,张高健¹,豆亚飞¹,赵西莎¹

(1. 西安市气象局,西安 710016;

2. 西安交通大学第二附属医院耳鼻喉头颈外科,西安 701148)

摘要:根据2020—2021年西安交通大学第二附属医院花粉观测数据,对西安城区空气中花粉浓度变化特征及气象影响因素进行综合分析。结果显示:西安城区花粉浓度呈典型的双峰季节性分布,早春(3月)和初秋(9月)是两个浓度峰值,与木本及草本植物物候期显著相关,夏季浓度维持低值。西安城区花粉种类以木本植物(杨柳科、蒿属、桑科)及草本植物(菊科蒿属)为主,致敏性花粉占比超60.00%。关键气象要素对花粉浓度分布具有显著影响:相对湿度、平均气温及降水均与花粉浓度呈显著负相关,而平均气压与花粉浓度呈显著正相关,风向与风速对花粉扩散存在阈值效应,西南风条件下花粉浓度最高,中等风速(1.5~2.0 m/s)可优化扩散效率,使空气中花粉浓度降低。本研究揭示了气象因子与花粉分布的内在联系,为花粉浓度预测预警及过敏性疾病防控提供了科学依据。

关键词:西安城区;花粉浓度;分布特征;气象条件

中图分类号:P427.1

文献标识码:A

在城市化深入推进的背景下,城市建成区范围逐步延伸,居民生活水平显著提升。随着生活质量的提高,城市绿化已成为改善城市气候与人居环境的重要举措^[1]。同时,全球气候变化导致气温升高、降水模式改变,这些气象因素的变化直接影响植物的生长周期和花粉产量,使得花粉过敏问题日益凸显^[2]。该问题不仅影响居民生活质量,还对城市生态环境和公共卫生安全构成威胁。花粉作为主要的空气传播过敏原之一,其浓度变化与过敏性鼻炎发病密切相关,临床观察发现,我国各年龄段人群的过敏性鼻炎患病率均呈上升趋势,其中病例大多集中在每年7—9月,且发病率年龄也趋于低龄化^[3]。

受植物花期、温度、湿度、风力、降水等环境因

素影响,过敏性鼻炎表现出典型的季节高峰特征。国外对空气孢粉学的研究开展较早,最早进行空气中孢粉学研究的是美国的渥德赫斯^[4]。早期国际研究普遍采用孢粉浓度监测与分类分析相结合的基础研究方法,随后库尔风标仪以及Durham重力玻片法的发明使大气孢粉的观测大大推进。在西班牙^[5]、波兰^[6]等欧洲国家及北美地区^[7]均有文献系统记载了不同地区大气花粉浓度的年度变化特征。据美国国立卫生研究院变态反应研究报告,美国现有花粉症患者1470万人,最高发病区花粉病患者占全部人口的10.00%以上。根据《2022中国过敏性疾病流行病学调查报告与现状分析》最新数据,我国过敏性疾病自报患病率达27.80%,其中过敏性鼻炎患病率为17.60%。气

收稿日期:2025-07-17

作者简介:郭庆元(1985—),女,汉族,陕西定边人,硕士,高级工程师,主要从事行业气象服务与应用气象研究工作。

通信作者:罗贤(1980—),男,汉族,陕西礼泉人,硕士,工程师,主要从事行业气象服务与应用气象研究工作。

基金项目:西安市气象局2022年“揭榜挂帅”科研项目(2022-06)

传致敏花粉作为主要过敏原,是诱发变应性鼻炎、变应性哮喘及变应性皮炎等变态反应性疾病的关键环境因素^[8-9]。1974年,美国 Stanley 提出了“致敏花粉是重要的空气污染物之一”的观点^[10]。20世纪90年代初,我国学者廖凤林提出“致敏花粉含量达到一定程度,以至于危害人体健康,使人群中花粉症发病率达0.05%或以上的空气状况,称之为花粉污染”的概念^[11]。受气候变化和城市化共同影响,花粉过敏症的流行病学特征呈明显上升趋势,中国气传致敏花粉调查显示花粉过敏症具有常年多发性明显的地区性和季节性^[12]。

我国科研团队已在多个重点区域开展系统性研究,包括北京^[13]的气传花粉季节分布特征、南昌^[14]的花粉浓度与气象因子关联性、昆明^[15]的花粉与气象要素的关系等。西安秋季花粉浓度与过敏性鼻炎(Allergic Rhinitis 简称 AR)门诊量呈显著正相关,AR患者就诊高峰在9月,与秋季菊科花粉(如蒿属)的高致敏性一致^[3]。这些成果为建立基于气象要素的区域花粉监测预报预警体系提供了关键技术指导。因此,系统研究花粉污染及其季节变异规律,探索有效的防控策略,对于改善人居环境质量和保障公共卫生安全具有双重意义,既是环境健康领域的科学前沿,也是城市生态建设的现实需求。

西安地处中国西北地区,其气候系统受大陆季风主导,呈现出暖温带半湿润区的典型气象特征,加之其紧邻秦岭,花粉浓度的高低必然受到秦岭植物种类的影响,独特的气候特点及地理位置对花粉的产生、传播和分布具有显著影响。因此,深入研究西安城区花粉浓度的分布特征,揭示其与气象条件之间的内在联系,对提升城市环境质量、保障居民身体健康具有重要的理论价值和实践意义。

1 数据与方法

1.1 花粉浓度数据观测地点与观测方法

西安市城区花粉观测地点位于西安交通大学第二附属医院楼顶(34°16'N,108°57'E),位于西安市主城区,四周无高大建筑物遮拦。采用伞蓬式花粉采集器,用涂有凡士林黏着剂的载玻片作为花粉采样基底材料,采用24小时重力沉降法,每日固定时段更换采样片,经标准化处理(曝片、染色、镜

检计数)后统计单位面积(1 000 mm²)花粉粒数。在2020—2021年(每年3月1日—10月15日)期间,累计捕获花粉27 072粒。采样工作全过程质量监控,包括采样前设备校准、采样过程复核及数据录入双人复核,保障观测数据的准确可靠。花粉种类识别采用形态学鉴定法,通过光学显微镜观察每日采集的花粉样本,依据《中国气传花粉和植物彩色图谱》比对花粉形态特征(包括大小、形状、萌发沟数量及外壁纹饰)进行分类统计,致敏花粉识别主要依据西安交通大学第二附属医院过敏病例报告和《中国气传致敏花粉调查》文献记载的高致敏性花粉种类进行数据分析。

1.2 气象数据来源

本研究选取2020和2021年3月1日—10月15日的逐日观测数据,气象观测点位于西安市钟楼盘道(V8863)(34°15'N,108°56'E),该站点与西安交通大学第二附属医院(直线距离约1.2 km)。选取的气象参数主要有:日平均风速(m/s)、日主导风向、日平均相对湿度(%)、日平均气温(°C)、20:00—20:00时累计降水量(mm)、日平均气压(hPa)。

1.3 相关性分析方法

为探究气象要素与花粉浓度之间的非线性关联特征,本研究采用非参数统计方法—斯皮尔曼等级相关系数(spearman's rank correlation coefficient, ρ)进行量化分析。斯皮尔曼等级相关系数是一种非参数统计方法,用于衡量两个变量之间单调关系的强度和方向。其公式如下:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (1)$$

其中 d_i 为两变量对应观测值的等级差(即每个数据点的排名差), n 为样本数量(成对观测值的总数), ρ 取值区间为 $[-1, 1]$, 1 表示两变量的等级排序完全一致, -1 表示等级排序完全相反。

显著性检验通过构建 t 统计量实现,对于大样本($n > 30$),采用 t 分布近似法:

$$t = \frac{\rho \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-\rho^2}} \quad (2)$$

其中 ρ 为斯皮尔曼相关系数, n 为有效样本量(本研究 $n = 229$)。

2 结果分析

2.1 西安城区主要飘散花粉日浓度及月浓度变化规律

2.1.1 西安城区花粉的种属分布格局 在2020—2021年两个完整观测年度(每年3月1日—10月15日)期间,共采集鉴定花粉样本27 072粒。经显微形态学分析,检出21个花粉类群,其中11种含量较高,按数量从多到少依次分别为杨柳科(24.32%)、菊科蒿属(22.61%)、桑科(18.00%)、松科(9.19%)、木犀科(8.72%)、柏科(3.90%)、胡桃科(1.57%)、禾本科(1.52%)、豆科(1.52%)、藜科(1.38%)和桦木科(1.12%)(图1)。

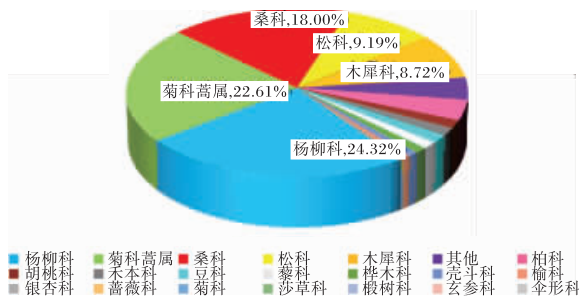


图1 西安城区主要花粉种类及浓度分布图

2.1.2 致敏性与非致敏性花粉的组成特征 首先对草本植物和木本植物释放的花粉进行了分析,结果显示木本植物与草本植物的花粉释放量存在显著差异。观测数据表明,西安城区大气中的花粉主要来源于木本植物,其释放量显著超过草本植物,木本植物产生的花粉占全部花粉数量浓度的比例高达69.00%(图2)。致敏花粉识别方法根据《中国气传致敏花粉调查》在收集到的21类花粉中分析出以下6种花粉为致敏花粉,分别是:柏科、禾本科、桦木科、菊科蒿属、杨柳科和松科。经统计分析显示(图2b),西安城区空气中悬浮传播的花粉中致敏性花粉占比超过六成(60.00%),显著高于非致敏性花粉占比(36.00%),反映出当地花粉以致敏种类为主。

2.1.3 主要花粉月浓度季节分布变化特征 月际花粉浓度数据(图3)分析显示,花粉浓度呈现典型双峰模式,浓度高峰主要出现在早春、初秋。9月达到峰值,占比33.06%;3月次之,占比30.28%,7月最低占比<1.00%。这种分布特征与西安植被物候吻合,春季以乔木(如杨柳科)传

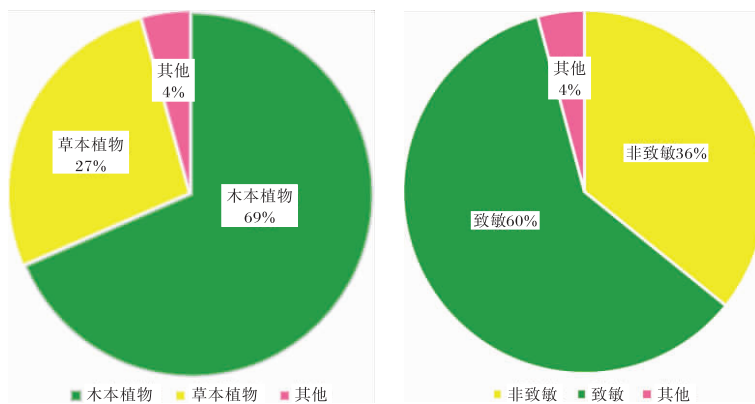


图2 西安城区致敏与非致敏花粉浓度分布图

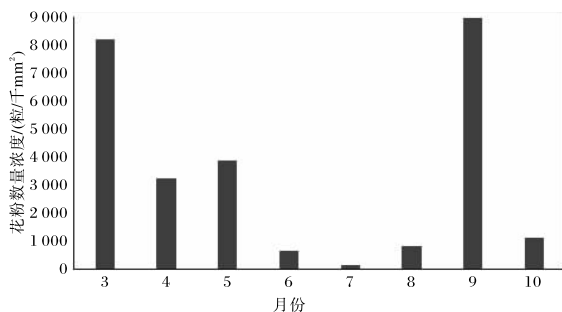


图3 西安城区花粉数量浓度月际分布分析

粉为主,秋季以草本(如菊科蒿属)为主。从图中可以看出,西安城区花粉浓度春季(3—5月)远大于秋季(9—10月),春季累计高浓度日数(日浓度大于100粒/千mm²)达到了50d,表现出持续时间长、整体浓度高的月度特征;秋季浓度高时段则主要集中在9月份,全季累计高浓度日数为32d,整体浓度水平和持续时间均弱于春季。这种春季更持久的高浓度暴露特征,可能是导致该季节过

敏症状高发的一个重要原因。

2.1.4 主要花粉日浓度季节分布变化特征 西安城区花粉浓度日变化也具有显著的季节性特征。从全年花粉飘散日数量的统计数据看,西安城区花粉浓度呈现出三峰型分布。其中,春季的3月中旬至3月底为第一个高峰,空气中花粉浓度极高,以杨柳科、柏科和榆科等木本植物为主,3月18日出现全年最高单日浓度(962粒/千 mm^2),3月24日次之(880粒/千 mm^2);随后在4月下旬至5月上旬之间有一个小波动,以木犀科、松科和桑科等木本植物为主,这些植物的花期较杨柳

科、柏科和榆科稍晚,因此在春季后期仍然会对空气中的花粉浓度产生影响,5月3日花粉浓度为752粒/千 mm^2 ,位居全年第三。从秋季9月初至10月上旬,花粉浓度再次呈现出明显的波动,主要浓度体现为草本类的菊科蒿属,其次是草本类的桑科(桑科葎草属)。最高单日浓度达624粒/千 mm^2 ,后续仍有503、498粒/千 mm^2 的次级峰值,但整体浓度水平和波动频率均弱于春季。在夏季的6—8月为低浓度期,该时段花粉浓度降低至全年最低水平,多数日期空气中无花粉飘散,波动幅度极小,反映夏季花粉来源显著减少(图4)。

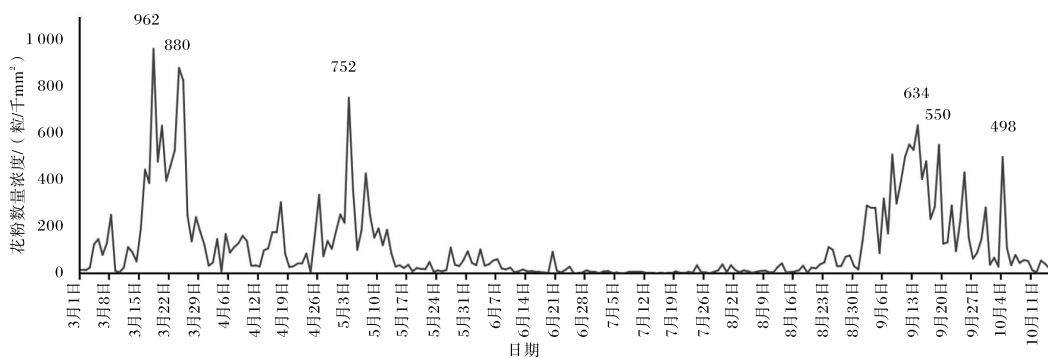


图4 西安城区花粉数量浓度日分布特征

2.2 气象条件对西安城区空气中花粉浓度的影响

空气花粉浓度变化是周围环境的植被特征、植物自身的生长因素和气象要素等多重影响的结果。有研究表明^[16-17],温度和水分胁迫对物候变化有非常重要的影响,进而影响植物的花期。气象要素包括平均气温、降水量、平均气压、相对湿度、风向和风速对花粉浓度的影响具有显著的时

段差异性,各要素在不同季节或物候期可能表现出不同的主导作用。本研究选取2020—2021年3月1日—10月15日的气象与花粉浓度数据(样本数均为229),选择气象要素中风速、相对湿度、平均气温、降水、平均气压,计算斯皮尔曼等级相关系数,量化分析气象因素与花粉浓度的关联性(表1)。

表1 2020—2021年(3月1日—10月15日)花粉浓度与气象要素相关性分析结果

年份	样本数	斯皮尔曼 ρ	花粉	风速	相对湿度	平均气温	降水	平均气压
2020	229	相关系数	1.00	-0.05	-0.40**	-0.21**	-0.37**	0.32**
2021	229	相关系数	1.00	-0.12	-0.25**	-0.23**	-0.17*	0.27**

注:“**”在0.01级别(双尾),相关性显著;“*”在0.05级别(双尾),相关性显著。

结果表明,相对湿度、平均气温及降水与花粉浓度均呈显著负相关关系。具体而言,相对湿度在2020年($\rho = -0.40, p < 0.01$)和2021年($\rho = -0.25, p < 0.01$)均表现出强负相关性,表明高湿度可能通过抑制花粉扩散或促进沉降降低其浓

度。平均气温的负相关趋势同样显著(2020年: $\rho = -0.21, p < 0.01$;2021年: $\rho = -0.23, p < 0.01$),可能与植物花期结束或高温抑制花粉释放有关。降水对花粉浓度的影响在两年的分析中均表现出显著相关性(2020年: $\rho = -0.37, p <$

0.01;2021年: $\rho = -0.17, p < 0.05$),提示降雨对花粉的冲刷效应。此外,平均气压与花粉浓度呈显著正相关(2020年: $\rho = 0.32, p < 0.01$;2021年: $\rho = 0.27, p < 0.01$),表明较高的气压可能促进花粉悬浮或扩散。但由于风速在两年的数据中均未呈现显著相关性($p > 0.05$),故在下文中将风速与风向单独进行分析。综上,相对湿度、日平均气温、降水和平均气压是影响花粉浓度的关键气象因子,研究结果可为花粉浓度预测及过敏防控提供科学依据。

对风向、风速与花粉浓度的相关性分析(图5)表明花粉浓度呈现显著的风向差异,其中西南风条件下的日峰值浓度可达766粒/千 mm^2 ,显著高于西北风和西风环境,这主要与研究区域位于西安城区中心且东部和南部植被繁盛有关。此外,风速与花粉浓度呈非线性关系:在低风速(0.5~1.5 m/s)条件下,花粉因扩散受限而局地积累,浓度较高;当风速增至1.5~2.0 m/s时,扩散效率提升导致浓度显著降低;而风速超过2.5 m/s后,外来花粉输送增强又使浓度回升。1.5~2.0 m/s为西安城区花粉扩散的最优风速区间,可为城市花粉污染防控和过敏风险管理提供重要科学依据。

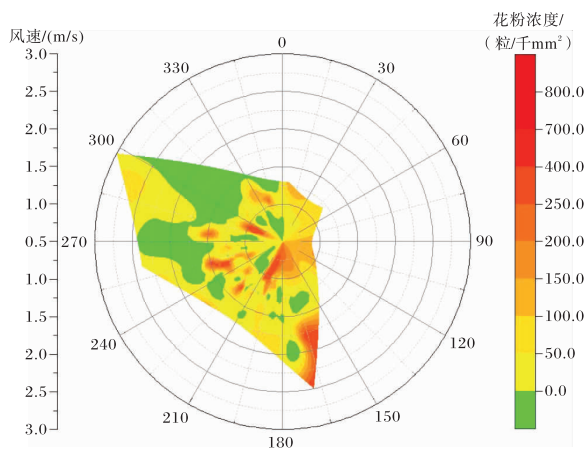


图5 空气中花粉浓度风玫瑰图

3 结论与讨论

(1)西安城区花粉浓度呈现明显的季节性与日变化规律,春季(3—5月)和秋季(9月)为浓度高峰期。春季以木本植物花粉为主,杨柳科、柏科及松科占比超50.00%,单日最高浓度达962粒/

千 mm^2 ;秋季则以草本植物菊科蒿属为优势,占全年花粉总量的22.61%。致敏性花粉全年占比超60.00%,其中木本植物贡献68.53%,是过敏性鼻炎季节性强发的主要诱因。日变化表现为三峰型分布,峰值集中于3月中旬至4月初、4月下旬至5月上旬及9月,与不同植物花期高度吻合。

(2)气象条件通过多因子协同作用调控花粉扩散,相对湿度($\rho = -0.40 \sim -0.25$)、平均气温($\rho = -0.23 \sim -0.21$)及降水($\rho = -0.37 \sim -0.17$)与花粉浓度呈显著负相关,表明高湿度与降水通过促进沉降或抑制释放降低花粉浓度,而高温可能加速植物花期结束,减少花粉产量。平均气压($\rho = 0.27 \sim 0.32$)的正相关性则显示高压环境利于花粉悬浮与扩散。气象因子的交互作用表明干旱、低压及晴朗天气为花粉高浓度传播的典型气象背景。

(3)风向与风速对花粉扩散具有空间分异与阈值效应,西南风条件下花粉浓度日峰值达766粒/千 mm^2 ,主要是西安城区东部和南部植被密集,风场携带植物源花粉向观测点聚集。风速对花粉扩散呈现非线性影响:低风速(0.5~1.5 m/s)限制扩散,中等风速(1.5~2.0 m/s)扩散效率提升使花粉浓度降低,而高风速(>2.5 m/s)则因外来花粉输送导致浓度再次升高。

(4)基于前期研究,已初步掌握了西安城区空气中花粉的物种组成、时空分布特征及其与气象因子的响应关系,为建立花粉浓度预测模型奠定了科学基础。基于研究结果,建议优化城区绿化植被配置,减少高致敏木本植物(如杨柳科、柏科)的密集种植,优先选择低致敏物种。春、秋季高发期应建立花粉浓度分级预警系统,结合湿度、降水及风速预报发布健康提示。针对敏感人群,需加强防护宣教,推广实时花粉监测APP及个人防护措施(如佩戴口罩、关闭门窗等)。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] ANDEREGG W R L, ABATZOGLOU J T, TNE-

- DREGG L D L, et al. Anthropogenic climate change is worsening North American pollen seasons [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2021, 118 (7): e2013284118.
- [3] ZHAN Q R, CHEN J G, et al. Characteristics of pollen concentration changes in Xi'an and their correlation with allergy-related diseases[J]. *Journal of Allergy and Asthma*, 2023, 12(1): 45-58.
- [4] 王开发,王宪曾. 孢粉学概论[M]. 北京:北京大学出版社,1983:12.
- [5] BELMONTE J, ROURE J M. 1991. Characteristics of the aeropollen dynamics at several localities in Spain[J]. *Grana*, 1991, 30(2): 364-372.
- [6] WERYSZKO-CHMIELEWSKA E, PUC M, Piotrowska, K. Effect of meteorological factors on *Betula*, *Fraxinus* and *Quercus* pollen concentrations in the atmosphere of Lublin and Szczecin, Poland[J]. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 2006, 13(2): 243-249.
- [7] ZISKA L, KNOWLTON K, et al. Recent warming by latitude associated with increased length of ragweed pollen season in central North America [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2011, 108(10): 4248-4251.
- [8] 孙洁. 真菌、花粉、尘螨致敏急性支气管哮喘患者临床特征分析[J]. *川北医学院学报*, 2018, 33(1): 37-39.
- [9] 王晓艳,郭森颖,王洪田,等. 我国北方地区儿童与青少年季节性变应性鼻炎致敏花粉的特征分析[J]. *临床耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2020, 34(11): 1005-1010.
- [10] STANLEY R G, LINSKENS H F. *Pollen Biology chemistry management* [M]. New York Springer-Verlag, 1974:165.
- [11] 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*, 1992, 4(2): 21-25.
- [12] 中国气传致敏花粉调查领导小组. 中国气传致敏花粉调查[M]. 北京:北京出版社,1991.
- [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): 453-457.
- [14] 谢水祥,马廉兰,刘志刚,等. 气传致敏花粉飘散与气象七要素的相关性[J]. *中国临床康复*, 2006, 10(12): 56-58.
- [15] 刘艳,谢淑琼,刘玲. 气传花粉飘散与气象要素的相关分析[J]. *环境与健康杂志*, 2010, 27(3): 264-265.
- [16] 张晶,王姝心,吴兆飞,等. 极端气候事件对中国温带森林秋季物候的影响[J]. *地理学报*, 2025, 80(7): 1786-1800.
- [17] 崔石林. 气象要素对植物物候影响及其驱动机制研究进展[J]. *农业灾害研究*, 2021, 11(9): 80-81.