doi：10.7499/j.issn.1008-8830.2605034

专家述评

中国儿童雷暴哮喘：流行病学特点与综合管理

韩鹏[1]　申昆玲[1,2]

（1.深圳市儿童医院呼吸科，广东深圳　518000；2.国家儿童医学中心/
国家呼吸系统疾病临床医学研究中心/首都医科大学附属北京儿童医院呼吸科，北京　100045）

［摘要］雷暴哮喘是指在雷暴天气期间或之后出现的哮喘急性发作现象，具有发生突然、波及范围广、患病人数集中等特点。气候变化导致极端天气频发、吸入过敏原浓度上升，未来雷暴哮喘将变得更加频繁和更难以预测。中国儿童雷暴哮喘的流行范围正在扩大，疾病负担被低估。该述评回顾中国儿童雷暴哮喘相关文献，结合全球机制与管理研究进展，对中国儿童雷暴哮喘的流行病学、发病机制及临床管理进行综合分析。中国儿童雷暴哮喘存在地域差异，既往主要发生于北方，近年来南方城市亦有报道。季节性变应性鼻炎儿童是隐匿高危人群，即便无哮喘诊断，也应对其加强监测与预防管理。综合管理的核心包括急性期分级救治、花粉浓度监测预警以及雷暴前预防性用药等。［中国当代儿科杂志，2026，28（9）：1043-1051］

［关键词］雷暴哮喘；气候变化；流行病学；高危人群；花粉过敏；综合管理；儿童

Pediatric thunderstorm asthma in China: epidemiological characteristics and comprehensive management

HAN Peng, SHEN Kun-Ling. Department of Respiratory Medicine, Shenzhen Children's Hospital, Shenzhen, Guangdong 518000, China (Shen K-L, Email: kunlingshen1717@163.com)

Abstract: Thunderstorm asthma is defined as acute asthma exacerbations occurring during or shortly after thunderstorms, characterized by sudden onset, wide geographic impact, and clustering of cases. Climate change is driving more frequent extreme weather and higher aeroallergen concentrations, making future thunderstorm asthma episodes more frequent and less predictable. In China, the geographic range of pediatric thunderstorm asthma is expanding and its disease burden is underestimated. This paper reviews the literature on thunderstorm asthma in Chinese children, integrates global advances in mechanisms and management, and provides a comprehensive analysis of the epidemiology, pathogenesis, and clinical management of pediatric thunderstorm asthma in China. Regional variation is evident, with historical predominance in northern regions and recent reports from southern cities. Children with seasonal allergic rhinitis constitute a hidden high-risk population; even without an asthma diagnosis, enhanced surveillance and preventive management are warranted. Core components of comprehensive management include graded acute-phase care, pollen concentration monitoring with early warning, and pre-thunderstorm prophylactic medication.

[Chinese Journal of Contemporary Pediatrics, 2026, 28(9): 1043-1051]

Key words: Thunderstorm asthma; Climate change; Epidemiology; High-risk population; Pollen allergy; Comprehensive management; Child

雷暴哮喘是指在雷暴天气中或紧随其后出现的哮喘急性发作，其发生突然且难以预测。雷暴天气通过物理破碎或电荷作用，使花粉或真菌孢子形成高浓度过敏性气溶胶，成为可深入下呼吸道的微小碎片或颗粒，在短时间内诱发易感个体出现哮喘急性发作[1]。全球范围内最早报道的雷暴哮喘发生于1983年英国伯明翰地区[2]。随后，澳大利亚和加拿大等地区相继有文献报道[3-4]。儿童气道较成人狭窄、免疫系统发育不完善、户外活动频繁，使其对雷暴诱发的高浓度气溶胶更为敏感[5-6]。作为气候变化背景下新兴的健康威胁，雷暴哮喘正对儿童呼吸健康构成严峻挑战[7-9]。本述评梳理了中国儿童雷暴哮喘的流行病学数据、发病机制及临床管理策略，以期为完善儿童呼吸健康防护提供参考。

［收稿日期］2026-05-09；［接受日期］2026-06-23
［基金项目］广东省高水平医院建设专项经费（粤府办2021-6）。
［作者简介］韩鹏，男，博士，主治医师。
［通信作者］申昆玲，女，主任医师。Email：kunlingshen1717@163.com。

1 中国儿童雷暴哮喘的分布特征

中国雷暴哮喘事件具有明显的季节性和地域性规律，其范围呈扩大趋势，如表1所示[10-22]。从时间分布看，中国雷暴哮喘发生在春季和秋季。秋季是北方高发期，与蒿属、藜科、苋科等草本植物花粉播散高峰高度吻合。8~9月也是北方地区真菌孢子浓度的次高峰阶段，增加了秋季雷暴哮喘的发生风险[23]。春季则以桑树、构树、银杏等木本植物花粉为主。虽然我国目前已报道的雷暴哮喘事件多集中于秋季，春季大规模暴发有限，但与澳大利亚等南半球国家以春季为主相比，体现了中国幅员辽阔、植被类型多样的复杂格局。从地区分布看，现阶段中国报道的雷暴哮喘主要发生于西北地区，2024年重庆和深圳的报道表明已扩展至西南、华南等地，地域影响范围正不断扩大[17-20]。

表1 文献报道的中国南北方雷暴哮喘事件的临床特征

区域	地区	发生时间	天气	就诊高峰	病例数(例)#	年龄	性别	过敏原	急性发作的严重程度
北方	陕西榆林[10]	2018年9月11日	雷暴伴强风	雷暴后18~24 h	391	3~14岁	男性74%	94%为艾蒿花粉	16%轻度 76%中度 8%重度
北方	宁夏[11]	2019年9月11日	雷暴、降雨、阵风	雷暴后1~5 h	2 709	平均46.6岁	男女比例为2.06∶1	重症患者为蒿属花粉	多数患者症状可自行或经治疗后缓解
北方	宁夏[12]	2022年9月8日	雷暴	雷暴后1~4 h	320	<14岁16.0% 14~<40岁58.4% >40岁25.6%	男性40.94% 女性59.06%	推测过敏原为蒿属花粉	92.8%轻度 7.2%中重度
北方	陕西榆林[13]	2022年9月9日	雷暴伴强风	未提及	93	≤18岁50.5%	男性55.9% 女性44.1%	蒿属花粉	17.2%轻度 76.3%中度 6.5%重度
北方	宁夏[14]	2022年9月19日	雷暴	未提及	8	中位年龄40.5岁	男性37.5% 女性62.5%	推测过敏原为蒿属花粉	未提及
北方	内蒙古呼和浩特[15]	2023年9月2日	雷暴	雷暴后3~8 h	357	0~17岁 (中位年龄7岁)	男女比1.9∶1	主要为蒿属、藜科、苋科、草属	住院患儿中75.61%为中度，19.51%为重度，4.88%为危重度
北方	内蒙古呼和浩特[16]	2023年9月1—2日	雷暴	未提供	155	<18岁37.42% ≥18岁62.58%	男性49.03% 女性50.97%	主要为蒿属花粉	78.06%轻度 18.71%中度 0.65%重度
南方	重庆[17]	2024年4月1—2日	雷暴	雷暴后3 h	57	平均41.2岁	男性33.3% 女性66.7%	未提及	大多数症状轻微
南方	重庆[18]	2024年4月1—2日	强对流雷雨天气	雷暴后2 h	125	14~87岁	男性37.6% 女性62.4%	未提及	51.2%轻度 44.8%中度 2.4%重度 1.6%危重度
南方	重庆[19]	2024年4月1—2日	雷暴伴阵风	未提及	55	8~67岁	男性38.18% 女性61.82%	主要为春季花粉	89.09%轻度 7.27%中度 3.64%重度
南方	广东深圳[20]	2024年4月22日—10月22日	雷暴	雷暴后1~4 h	60	平均52.47岁	男性71.67% 女性28.33%	未提及	10.00%轻度 26.67%中度 36.67%重度 26.67%危重度
北方	甘肃兰州[21]	2024年9月19日	雷暴	雷暴后2~4 h	125	2~93岁	男性62.4% 女性37.6%	主要为艾蒿和豚草	19.2%轻度 34.4%中度 44.8%重度 1.6%危重
北方	陕西榆林[13]	2025年9月8日	雷暴伴强风	未提及	28	≤18岁60.7%	男性57.1% 女性42.9%	主要为艾蒿	21.4%轻度 67.9%中度 10.7%重度
北方	山西太原[22]	2025年9月9日	雷暴	未提及	3	8~11岁	男性2例 女性1例	以蒿属花粉过敏为主	67%重度 33%危重度

注：数据来源于PubMed、中国知网和万方数据库的检索结果，截至2026年4月16日。文献［13］为同一篇文献报道的陕西榆林2022年与2025年两次雷暴哮喘事件。#病例数为各文献报道的雷暴哮喘发作后就诊或住院患者例数。

北方草原及农牧交错带是雷暴哮喘疾病负担最严重的区域。2018 年陕西榆林雷暴后 3 d 内，榆林市儿童医院接诊 391 例因呼吸急促、喘息和呼吸困难等症状就诊的患儿；雷暴天气后该院就诊人次和入院人次均激增[10]。2023 年呼和浩特发生雷暴天气后，因哮喘急性发作就诊人数 8 h 突破 2 000 例，13 h 近 3 000 例，单日就诊负荷达日常峰值的 5~8 倍，易引发医疗挤兑[15]。部分雷暴哮喘事件中，患儿出现中重度及危重度哮喘急性发作，合并呼吸衰竭、皮下气肿、纵隔气肿等并发症的风险增加[22]。相比之下，南方城市单次事件规模多为数十例，症状以轻中度为主[17-20]。

南北区域差异的形成与致敏原分布、暴露浓度及雷暴强度密切相关。北方地区蒿属花粉致敏性强、浓度高，与雷暴天气协同作用，可导致门急诊就诊量和住院人次显著增加。南方春季花粉致敏性相对较低，但近年来雷暴哮喘事件亦呈上升趋势。全球气候变化导致南方花粉季节延长、花粉释放周期提前，增加了易感人群的暴露窗口[7]。加之南方植被类型多样、气候湿润，部分区域花粉浓度在特定时段也可达到较高水平。快速城市化使得人口密度升高，变应性鼻炎等疾病的易感人群趋于集中。随着花粉监测网络的完善和临床认知水平的提升，春季花粉诱发的雷暴哮喘现象也逐渐被报道。

2　气候变化下致敏植被分布的演变

全球气候变化主要通过温度升高与二氧化碳浓度上升，使致敏植被的地理分布格局与物候节律发生改变，导致雷暴哮喘的发生频率增加且更加难以预测。

气候变暖使全球植物的分布范围发生变化。在北半球，许多植物的分布范围逐渐向北迁移。气温上升，植物能够适应更北地区的气候条件。近 30 年来，中国中东部地区的植物物种分布总体呈向北移动的趋势，平均北移值约为 3.37 度[24]。南半球植物的迁移模式与北半球类似，澳大利亚的高山植物已转移到更高的海拔以占据更合适的环境，以应对气候变化[25]。蒿属等致敏植物向更高纬度和更高海拔扩散。

气温升高和二氧化碳浓度增加促进植物和真菌生长，导致花粉/孢子的流行季节提前、时间延长，吸入过敏原的数量增多。以蒿属花粉为例，其高峰播散窗口正向两端拓展。这一改变增加了花粉播散期与初夏、初秋雷暴天气发生时段重叠的概率。1995—2009 年间，豚草的生长季整体延长 13~27 d[26]。二氧化碳浓度的增加增强了植物的光合作用和繁殖能力，导致花粉产量增多[27]。在二氧化碳浓度加倍时，豚草的花粉产量会增加 61% 以上[28-29]。空气污染能够改变花粉的形态和成分，增强其免疫原性[30]。花粉颗粒可以吸收重金属、硝酸盐和硫酸盐[31]。花粉表面聚集的颗粒物会增强过敏原的渗透能力，刺激免疫反应。城市热岛效应与景观同质化进一步放大了这一趋势[32-33]。致敏植物分布改变、花粉等过敏原的流行季节延长，使儿童暴露于新的或更长时间的过敏原中。

3　儿童雷暴哮喘的机制

雷暴哮喘的发生是个体因素与环境因素相互作用的结果。对儿童而言，这些因素还包括其呼吸系统的发育状态、过敏原暴露的增加以及多种环境因素的协同作用[34]。儿童呼吸系统处于持续发育阶段，其气道解剖管径窄于成人，相同程度的黏膜水肿会导致其阻力呈指数倍增长，在应激状态下更易失代偿。儿童气道上皮屏障功能尚不成熟，紧密连接蛋白表达水平低，纤毛黏液清除系统发育不全，导致其对吸入性颗粒的防御能力显著弱于成人[5]。儿童呼吸频率较快，单位体重吸入空气量较大，进一步放大了过敏原暴露剂量[6]。

雷暴的上升气流将完整的过敏性颗粒卷至云层底部的高湿度区域，颗粒吸水膨胀并破裂。一粒直径>35 μm 的黑麦草花粉可产生约 700 个具有过敏原性的亚花粉颗粒[35]。除高湿度引起的渗透破裂外，静电场和闪电弧放电可诱导花粉破裂，产生大量亚花粉颗粒。桦树花粉在湿润条件下暴露于 40 kV 静电场时，亚微米颗粒浓度可达 1 425 粒/cm^3；而电弧放电在湿润条件下可使亚微米颗粒浓度上升至 10 500 粒/cm^3[36]。不同物种的花粉对电场的敏感性存在差异，桦树花粉在高湿和强电场下易破裂，而松树花粉则表现出较强的耐受性。亚花粉颗粒体积小，保留完整的致敏性，能够穿过儿童的气道上皮屏障。

雷电作用也可使颗粒携带电荷，延长其在下呼吸道的黏附时间，促进哮喘症状的发生[37]。雷

电活动显著增加当日及2 d内花粉相关过敏性疾病的就诊风险[38]。低闪电电流强度、高回击陡度以及发生地靠近人口密集区时，相对风险更高[38]。白天发生的雷电事件对儿童雷暴哮喘的影响强于夜间，这与白天气温较高、户外活动增多等因素的影响有关。

雷暴哮喘涉及多种过敏原与环境污染物的协同作用。环境污染物虽非雷暴哮喘的核心诱因，但可通过损伤气道上皮、增强炎症反应来发挥作用。柏科花粉日浓度与细颗粒物和臭氧呈正相关，提示环境污染物与致敏花粉存在共暴露风险[39]。另有研究发现，臭氧浓度与蒿属花粉水平呈正相关，且联合气象因素对花粉诱发的过敏症状具有显著影响[40]。在对3 395例哮喘急性发作病例的分析中发现，可吸入颗粒物、细颗粒物、二氧化氮、一氧化碳和臭氧等污染物在花粉高峰期可显著增加哮喘急性发作的风险[41]。雷暴上升气流同时卷吸花粉、真菌孢子和环境污染物，在高湿度环境中形成复合物气溶胶，致敏性增强[42]。

4　雷暴哮喘高危儿童的识别

雷暴哮喘高危儿童是指容易在雷暴天气中发生哮喘急性发作的儿童，包括既往有雷暴哮喘病史的患儿、有哮喘病史且对花粉和/或霉菌过敏的患儿以及季节性变应性鼻炎患儿[3, 43]。雷暴哮喘患儿急诊就诊的危险因素包括：男性、存在季节性变应性鼻炎、未使用吸入激素治疗和气道炎症未控制。需要重症监护治疗的危险因素则包括：既往诊断为哮喘、未使用吸入激素、男性以及既往12个月内有哮喘住院史[41]。

近期无哮喘发作以及既往未诊断为哮喘的儿童也会发生雷暴哮喘。对于已诊断为哮喘的儿童，疾病控制不佳是关键危险因素。哮喘患者需住院的风险是非哮喘者的1.87倍。若既往12个月内曾因哮喘住院，则雷暴哮喘的住院风险进一步升高至3.16倍[44]。在2016年的墨尔本雷暴哮喘事件中，57%的急诊患者无哮喘病史[45]。中国雷暴哮喘患儿也表现出这一特征。在2018年的榆林雷暴哮喘事件中，56%的住院患儿从未出现哮喘症状[10]；2023年的呼和浩特雷暴哮喘事件中，60.78%的患儿既往无哮喘诊断[15]。

既往未被诊断为哮喘的雷暴哮喘儿童多数处于变应性鼻炎或过敏原致敏的状态。在2016年墨尔本雷暴哮喘急诊患者中，变应性鼻炎占87%，其中72%表现为中重度症状[44]。榆林数据显示，67%的患者合并变应性鼻炎，94%的患者艾蒿花粉特异性免疫球蛋白E（specific immunoglobulin E, sIgE）阳性[10]；呼和浩特雷暴哮喘事件中，80%的患者有变应性鼻炎病史，95%的患者花粉sIgE阳性[15]。上述儿童的气道炎症水平尚未达到哮喘的诊断标准，但在雷暴天气中，超高浓度的细小过敏原颗粒可突破其免疫耐受阈值，诱发哮喘首次急性发作。

5　儿童雷暴哮喘的临床表现和诊断

雷暴哮喘呈局部地区聚集性发病。患儿常于雷暴当日或次日就诊，首次就诊高峰多为雷暴发生后8 h内。儿童雷暴哮喘常在雷暴开始后约30 min出现急性呼吸道症状，主要表现为中至重度喘息、咳嗽、气促或胸闷。婴幼儿可表现为烦躁、拒食、睡眠不安。常伴变应性结膜炎、变应性鼻炎，以及皮肤潮红、荨麻疹、血管性水肿等皮肤过敏表现。体征以呼气相哮鸣音最为常见。重度或危重度发作时，由于气道严重阻塞和通气量显著下降，可出现哮鸣音减弱甚至消失的“沉默肺”，严重者可出现皮下积气和纵隔气肿。婴幼儿的呼吸增快、三凹征、鼻翼扇动、点头样呼吸等表现，具有早期识别的意义。辅助检查可见外周血嗜酸性粒细胞百分比明显增高，花粉和/或霉菌sIgE阳性，呼出气一氧化氮增高等表现。肺功能呈可变性阻塞性通气功能障碍，表现为第1秒用力呼气容积、用力肺活量、用力呼出50%肺活量时的瞬间流量、用力呼出75%肺活量时的瞬间流量，以及最大呼气中期流量等参数下降。部分患儿在雷暴哮喘发生时，肺通气功能检查亦可正常。

儿童雷暴哮喘的诊断依赖于临床表现和可逆性气流受限的证据，包括：（1）雷暴天气暴露史，且所在地区处于致敏花粉或真菌孢子播散季节；（2）在雷暴天气期间或雷暴结束后0.5~8 h内突发喘息、咳嗽、气促、胸闷等哮喘急性发作样临床表现，且症状出现时间与雷暴开始时间具有明确时序关联；（3）双肺可闻及散在或弥漫性呼气相哮鸣音，呼气相延长；（4）上述症状和体征经抗哮喘治疗或自行缓解；（5）支气管舒张或激发试验阳性，花粉和/或霉菌sIgE检测多呈阳性；（6）需除外可引起相似表现的其他疾病[43, 46]。

6 儿童雷暴哮喘的综合管理

6.1 急性发作期的管理

在雷暴天气后，患儿出现突然或反复发生的喘息、咳嗽、气促或胸闷等表现时，应按照哮喘行动计划立即使用缓解药物。首选吸入性短效β_2受体激动剂，每次均同时给予吸入性糖皮质激素（inhaled corticosteroids, ICS），可间隔1~4 h重复给药。既往有哮喘严重发作病史或使用上述方案后改善不明显的患儿，可尽快口服1次糖皮质激素[46]。若症状加重或存在致死性哮喘危险因素，需立即就医[47]。急诊患儿应监测血氧饱和度。对于危及生命的发作或对初始治疗反应不佳的患儿，应及时转入重症监护病房。

6.2 非急性发作期的管理

ICS是儿童哮喘长期控制的基石。未规律使用ICS的患者，雷暴哮喘风险增加4倍以上[48]。已确诊患儿应在花粉季节来临前评估哮喘控制水平，将原ICS剂量上调2~4倍。已达中高剂量者联合长效β_2受体激动剂（long-acting β_2 receptor agonist, LABA）或增加给药频次。雷暴哮喘缓解后，未规范治疗者应遵医嘱规范治疗，已规范治疗者应升级控制治疗方案[43]。

中国儿童哮喘行动计划（China Children's Asthma Action Plan, CCAAP）适用于雷暴哮喘患儿的自我管理。CCAAP通过症状和呼气峰流量判断病情，以绿区（哮喘控制良好）、黄区（哮喘加重先兆）、红区（哮喘急性发作）进行管理[49]。电子版CCAAP能够及时发布花粉及天气预警，在花粉显著升高的季节提醒患儿及其家属，提前给予控制药物。雷暴天气时，若患儿频繁喘息、咳嗽、气促或胸闷，且呼气峰流量较基线下降>13%或处于预计值/个人最佳值的60%~80%，即进入“黄区”，需按流程紧急处理[50]。长期遵循CCAAP可降低雷暴哮喘风险，实现有效预防与控制。

未诊断哮喘但患季节性变应性鼻炎者，应在花粉季前预防性给予H_1受体拮抗剂、白三烯受体拮抗剂和鼻用糖皮质激素。起始时机为花粉季开始前2~4周，可根据症状严重程度联合或单用。中-重度变应性鼻炎患儿给予充分抗炎药物治疗可降低雷暴哮喘的风险[43]。对于在花粉季才被识别且尚未用药的高危儿童，应即刻启动鼻用糖皮质激素联合口服抗组胺药，并密切关注天气情况。变应性鼻炎合并哮喘的患儿需同步强化鼻部抗炎治疗，在花粉季前规律使用鼻用糖皮质激素。

6.3 个人预防管理

个人预防措施涵盖规范治疗、关注预警、减少外出、净化室内空气及外出后清洁[43, 46]。哮喘患儿需规范使用控制药物并规律随访，确保哮喘控制良好。在花粉及真菌播散季节关注官方发布的花粉浓度监测报告，当蒿属花粉浓度达到或超过100粒/1 000 mm^2时提高警戒级别，同时关注强对流天气预警。在清晨及黄昏等花粉浓度高峰减少户外活动。外出时应全程正确佩戴N95/KN95级别防护口罩及密封性好的护目镜，穿长袖衣裤。在雷暴发生前1~2 h返回室内，雷暴结束后至少再停留4 h。在花粉及真菌浓度高峰期关闭门窗，使用高效空气净化器，维持室内湿度40%~60%，避免户外晾晒衣物被褥。回家后立即更换并单独清洗衣物，用温水洗脸、漱口，或冲洗鼻腔以清除附着的花粉颗粒。

过敏原特异性免疫治疗可减轻特定哮喘人群的疾病严重程度。既往采用花粉舌下免疫治疗（sublingual immunotherapy, SLIT）可有效减少雷暴哮喘发作或缓解其症状。墨尔本雷暴哮喘事件中完成黑麦草花粉SLIT的患者均未发生雷暴哮喘，而常规药物治疗组17例中有7例发作[51]。多项国内研究证实，蒿属花粉脱敏治疗能改善哮喘症状、减轻疾病严重程度、降低急性发作风险，同时减少药物使用、改善肺功能[52-55]。并且在儿童及成人季节性变应性鼻炎/鼻结膜炎患者中同样能够显著缓解症状、减少对症药物用量。中国北方蒿属花粉8~9月为播散高峰，人群致敏率为28.6%，西北地区高达58.2%[56]。中国针对黄花蒿花粉SLIT用于儿童变应性鼻炎的Ⅲ期临床试验正在进行中。鉴于豚草与蒿属花粉的高度交叉致敏性，黄花蒿SLIT产品的成功经验为豚草SLIT的研发提供了重要参考。花粉特异性免疫治疗的有效性取决于总累积剂量，3个月起效，长期缓解需3年以上[57]。该治疗在儿童中安全性与成人相当，不良反应多为轻微的口腔麻木、舌部肿胀等局部反应。无论在花粉季前还是花粉季中启动治疗，均表现出良好的疗效与安全性。对于雷暴哮喘的高危儿童均可考虑行花粉特异性免疫治疗以降低其发生风险。

奥马珠单抗作为季节性过敏的免疫调节疗法，具有快速起效、覆盖整个花粉季的特点。国外研究表明，奥马珠单抗可显著改善季节性变应性鼻炎和哮喘的症状控制、生活质量及急救药物使

用[58]。即使在花粉播散高峰期后给药，奥马珠单抗仍能在1周内快速起效[58]。与传统治疗方案相比，季节性使用奥马珠单抗能有效控制橄榄花粉诱发的严重哮喘，还能大幅减少医疗费用[59]。多项中国研究证实，奥马珠单抗能显著减轻季节性变应性鼻炎患者的鼻结膜炎症状，减少对症用药，并改善合并中重度哮喘患者的肺功能和控制水平，安全性良好[60-62]。季节前或高峰期后给药均有效，且基线症状越重的患者获益越明显。对于季节性加重的哮喘患儿，在秋季和/或春季前加用奥马珠单抗可预防哮喘急性发作[63]。对高危儿童，在易感季节前短期使用奥马珠单抗是经济、合理，且有效的措施。目前，尚无充分证据表明生物制剂可直接用于雷暴哮喘的预防，但未来需建立生物标志物指导的个体化治疗策略以优化季节性过敏的精准治疗。

6.4 公共卫生策略

公共卫生策略侧重于群体层面的监测预警、多部门协同及社区学校防控网络建设。雷暴哮喘的管理首先应提高医生、患儿及照护者对雷暴哮喘的认识。澳大利亚在2016年雷暴哮喘事件发生后，制定了雷暴哮喘行动计划用于患者管理，内容包括疾病相关知识以及离开急诊后的管理策略[64]。2023年9月内蒙古呼和浩特雷暴哮喘事件后，中国先后发表了一系列有关雷暴哮喘专家共识或应急管理与对策方面的文章[43, 46, 65-66]。从专业和科普两个角度探讨雷暴哮喘的识别、治疗及预防，为儿童及成人雷暴哮喘的规范诊治提供参考。

建立预警体系能够降低雷暴哮喘人群的发病风险。墨尔本的研究指出，当花粉浓度超过19粒/m^3时，哮喘急性发作的风险会增加；而当浓度达到50粒/m^3时，哮喘患儿应避免非必要的户外活动，并考虑预防性使用相关药物[67]。预警信息的发布应及时、精准，依托传统媒体与新媒体协同联动的传播网络，针对高危人群实施精准信息投递。我国主要通过中国天气网的媒体和微信平台进行全国花粉数据播报，实时传输发布每日花粉数据。预警阈值的科学设定需要本土化验证。目前国内尚无统一的预警阈值标准。其在中国不同植被区的适用性需经多中心前瞻性研究进一步明确。

社区与学校是实施公共卫生策略的关键平台。学校作为学龄儿童日间活动的核心场所，其防控能力取决于校医专业素养的提升。校医能力建设需涵盖知识维度、技能维度和管理维度。每一位校医均应熟知CCAAP，并学会利用其电子管理平台及时预警、迅速应对校园内可能突发的雷暴哮喘事件。社区作为儿童生活的首要环境，应建立高危儿童筛查与家庭健康教育路径。家庭健康教育可采用健康讲座、宣传材料等多元化传播策略，强化雷暴天气预警后的行为干预。同时与医疗机构建立联动机制，及时为患儿提供医疗援助。

雷暴哮喘具有突发性和群体性特征，可在极短时间内造成医疗资源挤兑。建立系统化应对急诊激增的策略是保障患者生命安全的核心环节[68]。医疗机构应在花粉播散季节前制定雷暴哮喘专项应急预案，组建多学科救治团队，并开展专项培训和模拟演练。二级以上医疗机构需在花粉季前完成急救药物、器械设备及临时诊疗空间的储备。基层医疗机构需健全与上级医院的双向转诊机制，建立区域医疗联合体信息共享平台，实时监测各机构接诊负荷并动态调配医疗资源。

7 总结

中国雷暴哮喘既往主要集中于北方地区，近年来发病地域已逐渐扩展至南方城市。其核心机制在于雷暴气象作用将花粉或真菌孢子破碎成微小颗粒，形成高浓度致敏气溶胶，导致易感个体在短时间内急性发作。既往无哮喘诊断的季节性变应性鼻炎或花粉致敏儿童，是雷暴哮喘发作的隐匿高危人群。雷暴天气未来可能更加普遍和难以预测。国内尚需完善雷暴哮喘监测网络，并开展长期随访研究。儿科医师应重视患儿气道高反应性，识别高危儿童并优化哮喘与季节性变应性鼻炎的个体化治疗。公共卫生部门则应构建包含监测预警、社区防护和医疗资源调配在内的防控体系。未来还应推进本土化预警模型建立及生物制剂精准应用研究等。临床个体化管理与公共卫生防控的综合管理策略，将有助于降低雷暴哮喘对儿童呼吸健康的短期冲击和长期风险。

作者贡献声明：韩鹏负责文献检索、数据整理、稿件撰写与修订；申昆玲负责稿件审阅与修改及学术指导。

利益冲突声明：所有作者均声明无利益冲突。

［参 考 文 献］

[1] Venkatesan P. Epidemic thunderstorm asthma[J]. Lancet Respir Med, 2022, 10(4): 325-326. PMID: 35227414. DOI: 10.1016/S2213-2600(22)00083-2.

[2] Packe GE, Ayres JG. Asthma outbreak during a thunderstorm[J]. Lancet, 1985, 2(8448): 199-204. PMID: 2862383. DOI: 10.1016/s0140-6736(85)91510-7.

[3] Han P, Shen KL. Climate change and thunderstorm asthma in children: challenges and responses[J]. World J Pediatr, 2026, 22 (2): 159-166. PMID: 41535524. DOI: 10.1007/s12519-025-01012-3.

[4] Price D, Hughes KM, Thien F, et al. Epidemic thunderstorm asthma: lessons learned from the storm down-under[J]. J Allergy Clin Immunol Pract, 2021, 9(4): 1510-1515. PMID: 33172604. DOI: 10.1016/j.jaip.2020.10.022.

[5] Mastorci F, Linzalone N, Ait-Ali L, et al. Environment in children's health: a new challenge for risk assessment[J]. Int J Environ Res Public Health, 2021, 18(19): 10445. PMID: 34639744. PMCID: PMC8507725. DOI: 10.3390/ijerph181910445.

[6] Perera F, Nadeau K. Climate change, fossil-fuel pollution, and children's health[J]. N Engl J Med, 2022, 386(24): 2303-2314. PMID: 35704482. DOI: 10.1056/NEJMra2117706.

[7] Han P, Shen KL. Extreme weather and pediatric respiratory health: insights from GINA 2025[J]. World J Pediatr, 2026, 22 (4): 398-403. PMID: 42000937. DOI: 10.1007/s12519-026-01033-6.

[8] Jutel M, Mosnaim GS, Bernstein JA, et al. The one health approach for allergic diseases and asthma[J]. Allergy, 2023, 78 (7): 1777-1793. PMID: 37119496. DOI: 10.1111/all.15755.

[9] Atwoli L, Baqui AH, Benfield T, et al. Call for emergency action to limit global temperature increases, restore biodiversity, and protect health[J]. N Engl J Med, 2021, 385(12): 1134-1137. PMID: 34491006. DOI: 10.1056/NEJMe2113200.

[10] Xu YY, Xue T, Li HR, et al. Retrospective analysis of epidemic thunderstorm asthma in children in Yulin, northwest China[J]. Pediatr Res, 2021, 89(4): 958-961. PMID: 32454517. DOI: 10.1038/s41390-020-0980-9.

[11] 孙伟, 龚瑞, 高洁, 等. 宁夏过敏性哮喘暴发事件调查分析[J]. 职业卫生与应急救援, 2021, 39(6): 693-695. DOI: 10.16369/j.oher.issn.1007-1326.2021.06.019.

[12] 严梅, 靳泉鹏, 褚娇娇, 等. 一起群体性雷暴哮喘的调查分析[J]. 宁夏医学杂志, 2023, 45(3): 270-273. DOI: 10.13621/j.1001-5949.2023.03.0270.

[13] Hao W, Ye W, Liu X, et al. Comparative study on two epidemic thunderstorm-asthma events: a retrospective analysis of cases in Yulin in 2022 and 2025[J]. Int Arch Allergy Immunol, 2026. Epub ahead of print. PMID: 41926551. DOI: 10.1159/000551697.

[14] 张瑶, 雷菁, 蒋杉杉, 等. 与雷暴相关的急性呼吸系统疾病: 宁夏连续两起雷暴哮喘特点分析[J]. 中华急诊医学杂志, 2024, 33(11): 1580-1585. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2024.11.018.

[15] 刘德艳, 柴少卿, 李俊利, 等. 内蒙古呼和浩特地区儿童雷暴哮喘事件回顾性分析[J]. 中华实用儿科临床杂志, 2024, 39(5): 364-368. DOI: 10.3760/cma.j.cn101070-20240329-00188.

[16] Fan C, Li X, Cai H, et al. Epidemic thunderstorm asthma in Hohhot, Northern China: a retrospective analysis of clinical characteristics in 155 patients[J]. J Allergy Clin Immunol Pract, 2024, 12(9): 2514-2516.e1. PMID: 38897343. DOI: 10.1016/j.jaip.2024.06.012.

[17] Yi G, Yang L, Hu G, et al. Investigation of a thunderstorm asthma event: Chongqing municipality, China, April 2024[J]. China CDC Wkly, 2025, 7(27): 926-930. PMID: 40672985. PMCID: PMC12259383. DOI: 10.46234/ccdcw2025.155.

[18] 黄飞月, 刘丽萍, 张克标, 等. 重庆市 125 例流行性雷暴哮喘患者应急救治的回顾性分析[J]. 职业卫生与应急救援, 2025, 43 (4): 536-538. DOI: 10.16369/j.oher.issn.1007-1326.2025.240642.

[19] 周薇, 严宇, 黄静, 等. 重庆地区 55 例春季雷暴哮喘回顾性分析[J]. 中华预防医学杂志, 2025, 59(12): 2082-2089. DOI: 10.3760/cma.j.cn112150-20250509-00412.

[20] 杨秀芬, 邹林, 王丙栋, 等. 2024 年深圳地区夏季 60 例雷暴哮喘患者回顾性分析[J]. 中国急救复苏与灾害医学杂志, 2025, 20(10): 1331-1335. DOI: 10.3969/j.issn.1673-6966.2025.10.016.

[21] 桑迎竹, 雷丰丰, 肖晓辉, 等. 兰州市 125 例雷暴哮喘住院患者临床特征分析[J]. 中华内科杂志, 2026, 65(4): 346-351. DOI: 10.3760/cma.j.cn112138-20251117-00696.

[22] 常洁, 张晓娟, 李文, 等. 雷暴哮喘合并塑形支气管炎 3 例[J]. 中华儿科杂志, 2026, 64(4): 442-444. PMID: 41834209. DOI: 10.3760/cma.j.cn112140-20251209-01089.

[23] 顾建青, 何海娟, 王良录, 等. 2010 年北京城区气传真菌监测[J]. 中华临床免疫和变态反应杂志, 2018, 12(4): 379-383. DOI: 10.3969/j.issn.1673-8705.2018.04.002.

[24] 宋文静, 吴绍洪, 陶泽兴, 等. 近 30 年中国中东部地区植物分布变化[J]. 地理研究, 2016, 35(8): 1420-1432. DOI: 10.11821/dlyj201608002.

[25] Rana SK, Rana HK, Stöcklin J, et al. Global warming pushes the distribution range of the two alpine 'glasshouse' *Rheum* species north- and upwards in the Eastern Himalayas and the Hengduan Mountains[J]. Front Plant Sci, 2022, 13: 925296. PMID: 36275548. PMCID: PMC9585287. DOI: 10.3389/fpls.2022.925296.

[26] Ziska L, Knowlton K, Rogers C, et al. Recent warming by latitude associated with increased length of ragweed pollen season in central North America[J]. Proc Natl Acad Sci U S A, 2011, 108(10): 4248-4251. PMID: 21368130. PMCID: PMC3053965. DOI: 10.1073/pnas.1014107108.

[27] Cecchi L, D'Amato G, Annesi-Maesano I. External exposome and allergic respiratory and skin diseases[J]. J Allergy Clin Immunol, 2018, 141(3): 846-857. PMID: 29519451. DOI: 10.1016/j.jaci.2018.01.016.

[28] Wayne P, Foster S, Connolly J, et al. Production of allergenic pollen by ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) is increased in CO_2-enriched atmospheres[J]. Ann Allergy Asthma Immunol, 2002, 88(3): 279-282. PMID: 11926621.

DOI: 10.1016/S1081-1206(10)62009-1.

[29] Venkatesan S, Zare A, Stevanovic S. Pollen and sub-pollen particles: external interactions shaping the allergic potential of pollen[J]. Sci Total Environ, 2024, 926: 171593. PMID: 38479525. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.171593.

[30] Ziska LH, Gebhard DE, Frenz DA, et al. Cities as harbingers of climate change: common ragweed, urbanization, and public health[J]. J Allergy Clin Immunol, 2003, 111(2): 290-295. PMID: 12589347. DOI: 10.1067/mai.2003.53.

[31] Behrendt H, Becker WM, Friedrichs KH, et al. Interaction between aeroallergens and airborne particulate matter[J]. Int Arch Allergy Immunol, 1992, 99(2/4): 425-428. PMID: 34167252. DOI: 10.1159/000236303.

[32] Dhawan S, Kumar A, Mehta DS, et al. A review of airborne pollen and its interactions with air pollutants, urbanization, and climate change: implications for human health and monitoring Gaps[J]. Curr Allergy Asthma Rep, 2025, 25(1): 62. PMID: 41454182. DOI: 10.1007/s11882-025-01241-6.

[33] Niu Z, Fang X, Sun J, et al. Exposure to anthropogenic heat was associated with the increased risks of respiratory allergy symptoms in preschool children: a new insight into the urban heat island effect[J]. Environ Sci Technol, 2025, 59(24): 12060-12073. PMID: 40490877. DOI: 10.1021/acs.est.5c02190.

[34] Thien F, Davies JM, Hew M, et al. Thunderstorm asthma: an overview of mechanisms and management strategies[J]. Expert Rev Clin Immunol, 2020, 16(10): 1005-1017. PMID: 32960102. DOI: 10.1080/1744666X.2021.1826310.

[35] Suphioglu C. Thunderstorm asthma due to grass pollen[J]. Int Arch Allergy Immunol, 1998, 116(4): 253-260.

[36] Venkatesan S, Zare A, Alinaghipour B, et al. Impact of atmospheric charge regimes (static fields and arcing) on airborne tree pollen rupture under dry and wet conditions[J]. Environ Sci Technol, 2026, 60(13): 10129-10138. PMID: 41887923. DOI: 10.1021/acs.est.5c16155.

[37] Hughes KM, Price D, Suphioglu C. Importance of allergen-environment interactions in epidemic thunderstorm asthma[J]. Ther Adv Respir Dis, 2022, 16: 17534666221099733. PMID: 35603956. PMCID: PMC9134402. DOI: 10.1177/17534666221099733.

[38] Deng T, Zhang J, Liu H, et al. Effects of thunderstorm weather and pollen on respiratory allergic diseases[J]. Int J Environ Health Res, 2026. Epub ahead of print. PMID: 41649120. DOI: 10.1080/09603123.2026.2627346.

[39] Qin X, Li Y, Zhang H, et al. Interactions among Cupressaceae pollen, air pollutants and meteorology in the urban and suburban areas of Beijing, China[J]. Sci Rep, 2025, 15(1): 14184. PMID: 40269145. PMCID: PMC12019579. DOI: 10.1038/s41598-025-98316-1.

[40] Lu Q, Zhang QH, Xin PL, et al. Impact of meteorological parameters and air pollutants on weed pollen-induced allergic rhinitis symptoms in Dalian, China[J]. Int Arch Allergy Immunol, 2026, 187(8): 809-821. PMID: 41082477. DOI: 10.1159/000548918.

[41] Lu Y, Jie X, Zou F, et al. Investigation analysis of the acute asthma risk factor and phenotype based on relational analysis with outdoor air pollutants in Xi'an, China[J]. Environ Geochem Health, 2024, 46(3): 75. PMID: 38367077. DOI: 10.1007/s10653-023-01816-0.

[42] D'Amato G, Annesi-Maesano I, Urrutia-Pereira M, et al. Thunderstorm allergy and asthma: state of the art[J]. Multidiscip Respir Med, 2021, 16(1): 806. PMID: 35003735. PMCID: PMC8672486. DOI: 10.4081/mrm.2021.806.

[43] 中国医药教育协会儿科专业委员会, 中华医学会儿科学分会呼吸学组哮喘协作组, 中国医师协会呼吸医师分会儿科呼吸工作委员会, 等. 中国儿童雷暴哮喘专家共识[J]. 中华实用儿科临床杂志, 2024, 39(5): 321-326. DOI: 10.3760/cma.j.cn101070-20240417-00243.

[44] Hew M, Lee J, Susanto NH, et al. The 2016 Melbourne thunderstorm asthma epidemic: risk factors for severe attacks requiring hospital admission[J]. Allergy, 2019, 74(1): 122-130. PMID: 30243030. DOI: 10.1111/all.13609.

[45] Thien F, Beggs PJ, Csutoros D, et al. The Melbourne epidemic thunderstorm asthma event 2016: an investigation of environmental triggers, effect on health services, and patient risk factors[J]. Lancet Planet Health, 2018, 2(6): e255-e263. PMID: 29880157. DOI: 10.1016/S2542-5196(18)30120-7.

[46] 北京整合医学学会变态反应学分会, 北京医学会过敏（变态）反应学分会, 中华医学会变态反应学分会, 等. 雷暴哮喘防控专家共识[J]. 中华预防医学杂志, 2026, 60(3): 301-314. DOI: 10.3760/cma.j.cn112150-20251229-01236.

[47] 中华医学会儿科学分会呼吸学组, 中华儿科杂志编辑委员会, 中国医药教育协会儿科专业委员会. 儿童支气管哮喘诊断与防治指南（2025）[J]. 中华儿科杂志, 2025, 63(4): 324-337. PMID: 40090909. DOI: 10.3760/cma.j.cn112140-20250124-00074.

[48] Almohammadi AA. Climate change and pediatric respiratory health: an emerging paradigm in prevention and critical care[J]. Pediatr Respirol Crit Care Med , 2026, 10(1): 3-10. DOI: 10.4103/prcm.prcm_22_25.

[49] 国家呼吸系统疾病临床医学研究中心, 中华医学会儿科学分会呼吸学组哮喘协作组, 中国医药教育协会儿科专业委员会, 等. 中国儿童哮喘行动计划临床应用专家共识[J]. 中华实用儿科临床杂志, 2021, 36(7): 484-490. DOI: 10.3760/cma.j.cn101070-20210310-00290.

[50] 国家呼吸系统疾病临床医学研究中心, 中华医学会儿科学分会呼吸学组哮喘协作组, 中国医药教育协会儿科专业委员会, 等. 中国儿童哮喘行动计划“百问百答”[J]. 中华实用儿科临床杂志, 2021, 36(7): 491-513. DOI: 10.3760/cma.j.cn101070-20210310-00289.

[51] O'Hehir RE, Varese NP, Deckert K, et al. Epidemic thunderstorm asthma protection with five-grass pollen tablet sublingual immunotherapy: a clinical trial[J]. Am J Respir Crit Care Med, 2018, 198(1): 126-128. PMID: 29461859. DOI: 10.1164/rccm.201711-2337LE.

[52] Tang L, Wang P, Yang X, et al. *Artemisia annua* sublingual immunotherapy in children with seasonal allergic rhinitis[J].

Allergy, 2024, 79(5): 1376-1379. PMID: 38375928.
DOI: 10.1111/all.16073.

[53] Li J, Liu W, Xu YJ, et al. Coseasonal initiation of *Artemisia annua* sublingual immunotherapy in children and adult patients with allergic rhinoconjunctivitis[J]. Eur Arch Otorhinolaryngol, 2025, 282(2): 843-850. PMID: 39611955.
DOI: 10.1007/s00405-024-09088-9.

[54] Feng Y, Zhao Y, Hu HX, et al. *Artemisia annua* sublingual immunotherapy in pediatric patients with seasonal allergic rhinoconjunctivitis: comparison to adult patients[J]. Asia Pac Allergy, 2025, 15(2): 82-88. PMID: 40718120. PMCID: PMC12289075. DOI: 10.5415/apallergy.0000000000000197.

[55] Xu C, Zhao Y, Huang H, et al. Effects of *artemisia annua*-sublingual immunotherapy on asthma control and pulmonary function in patients with mild-moderate allergic asthma[J]. Int Arch Allergy Immunol, 2025, 186(10): 956-966. PMID: 40010311. DOI: 10.1159/000543864.

[56] Lou H, Ma S, Zhao Y, et al. Sensitization patterns and minimum screening panels for aeroallergens in self-reported allergic rhinitis in China[J]. Sci Rep, 2017, 7(1): 9286. PMID: 28839248. PMCID: PMC5570894.
DOI: 10.1038/s41598-017-10111-9.

[57] Komlósi ZI, Kovács N, Sokolowska M, et al. Mechanisms of subcutaneous and sublingual aeroallergen immunotherapy: what is new?[J]. Immunol Allergy Clin North Am, 2020, 40(1): 1-14. PMID: 31761112. DOI: 10.1016/j.iac.2019.09.009.

[58] Hirano K, Suzaki I, Uruma S, et al. Impact of omalizumab on pollen-induced seasonal allergic rhinitis: an observational study in clinical practice[J]. Int Forum Allergy Rhinol, 2021, 11(11): 1588-1591. PMID: 34047460. DOI: 10.1002/alr.22827.

[59] Serrano P, Navas A, Ruiz-León B, et al. Seasonal administration of omalizumab in patients with uncontrolled asthma and sensitization to olive pollen[J]. J Investig Allergol Clin Immunol, 2021, 31(5): 436-438. PMID: 33237024.
DOI: 10.18176/jiaci.0657.

[60] 李丽莎, 关凯, 王子熹, 等. 奥马珠单抗治疗柏树花粉过敏所致季节性变应性鼻炎的效果[J]. 中华临床免疫和变态反应杂志, 2022, 16(6): 569-574.
DOI: 10.3969/j.issn.1673-8705.2022.06.001.

[61] 马婷婷, 王向东, 陈艳蕾, 等. 奥马珠单抗治疗花粉症伴中重度哮喘患者的临床疗效及安全性研究[J]. 中国耳鼻咽喉头颈外科, 2018, 25(12): 675-678.
DOI: 10.16066/j.1672-7002.2018.12.012.

[62] 李世纪, 高云博, 张媛, 等. 奥马珠单抗季节前治疗季节性变应性鼻炎的药物经济学评价[J]. 中华耳鼻咽喉头颈外科杂志, 2025, 60(4): 427-434.
DOI: 10.3760/cma.j.cn115330-20240612-00346-1.

[63] 国家呼吸系统疾病临床医学研究中心, 中华医学会儿科学分会呼吸学组哮喘协作组, 中国医药教育协会儿科专业委员会, 等. 奥马珠单抗在儿童过敏性哮喘临床应用专家共识[J]. 中华实用儿科临床杂志, 2021, 36(12): 881-890.
DOI: 10.3760/cma.j.cn101070-20210531-00621.

[64] Anderson BJ, Harding AM, Taylor SE, et al. Thunderstorm asthma medication management during an external emergency (code brown): an observational study of the impact of electronic prescribing and clinical documentation[J]. Australas Emerg Care, 2020, 23(4): 259-264. PMID: 32518037.
DOI: 10.1016/j.auec.2020.05.002.

[65] 王洪田, 张俊晶, 马婷婷, 等. 雷暴哮喘的突发公共卫生事件分级响应及应急处置对策[J]. 中华卫生应急电子杂志, 2025, 11(1): 1-5. DOI: 10.3877/cma.j.issn.2095-9133.2025.01.001.

[66] 宁夏医学会呼吸病学分会, 宁夏医师协会呼吸医师分会, 宁夏医学会变态反应学分会, 等. 宁夏雷暴哮喘应急管理与对策[J]. 宁夏医科大学学报, 2025, 47(9): 865-875.
DOI: 10.16050/j.cnki.issn1674-6309.2025.09.001.

[67] Erbas B, Akram M, Dharmage SC, et al. The role of seasonal grass pollen on childhood asthma emergency department presentations[J]. Clin Exp Allergy, 2012, 42(5):799-805. PMID: 22515396. DOI:10.1111/j.1365-2222.2012.03995.x.

[68] Middleton J, Rorie AC. The impact of extreme weather events on allergic airway disease[J]. Curr Allergy Asthma Rep, 2026, 26(1): 16. PMID: 41758255. DOI: 10.1007/s11882-026-01261-w.

（本文编辑：邓芳明）

（©《中国当代儿科杂志》编辑部，开放获取CC BY-NC-ND 4.0协议）
（© Editorial Office of *Chinese Journal of Contemporary Pediatrics*. OA under CC BY-NC-ND 4.0 license）