

廊坊市高影响天气的复合及演变特征

郭立平, 田晓飞, 周玉都, 刘淇淇

廊坊市气象局气象台, 河北 廊坊

收稿日期: 2025年10月28日; 录用日期: 2025年11月27日; 发布日期: 2025年12月11日

摘要

为掌握和了解高影响天气的复合演变特征及其影响, 利用2009~2024年廊坊市气象站降水、大风、雾、霾、气温等气象观测资料以及天气学、气候学、数理统计等方法对廊坊市14类常见天气的复合及演变特征进行了深入分析和研究, 结果如下: (1) 依据各天气出现的特点, 将14类天气划分为多复合型天气(寒潮、雾、霾(烟))、频发型天气(降水、大风、高温)、季节性强天气(冰雹、扬沙、浮尘)、多伴随型天气(轻雾、类霾、连续低温(降温))。 (2) 依据天气出现频次、影响特点等几方面因素, 将廊坊市主要高影响天气分为降水、大风、高温、寒潮、雾和霾, 其中降水过程最多, 寒潮最少。 (3) 每类高影响天气均可与冰雹等其他天气形成多种复杂的天气过程, 其中大风的复合类型最多达26种, 伴雾或霾的复合类型达34种, 所有复合类型中降水伴大风发生次数最多, 平均每年达9.8次。 (4) 降水、大风和雾、霾分别代表冷空气影响型和天气形势静稳型, 此4类天气是多种复杂过程中最活跃的成员; 寒潮和高温作为气温骤降和飙升的强天气, 可与降水、大风、雾、霾等天气复合出现, 组合类型分别最多可达8种和11种, 气温异常叠加风、雨、雾、霾等使得天气过程更为复杂、影响更为强烈。 (5) 霾(类霾)日及多复合高影响天气的类型随年际变化有增多和频发的趋势, 表现出对人类生产、生活及健康等方方面面的影响增强, 及早认识、早期预警、积极应对才能趋利避害。

关键词

寒潮, 降水, 大风, 高温, 雾和霾, 复合, 演变特征

Compound and Evolution Characteristics of High-Impact Weather in Langfang City

Liping Guo, Xiaofei Tian, Yudu Zhou, Qiqi Liu

Meteorological Bureau of Langfang City, Langfang Hebei

Received: October 28, 2025; accepted: November 27, 2025; published: December 11, 2025

文章引用: 郭立平, 田晓飞, 周玉都, 刘淇淇. 廊坊市高影响天气的复合及演变特征[J]. 环境保护前沿, 2025, 15(12): 1676-1687. DOI: 10.12677/aep.2025.1512180

Abstract

To grasp and understand the composite evolution characteristics and impacts of high-impact weather, an in-depth analysis and study were conducted on the composite and evolution features of 14 common weather types in Langfang City using meteorological observation data from 2009 to 2024, including precipitation, strong winds, fog, haze, and temperature, as well as synoptic, climatological, and statistical methods. The results are as follows: (1) Based on the characteristics of each weather occurrence, the 14 weather types were categorized into multi-composite weather (cold waves, fog, haze (smoke)), frequent-occurrence weather (precipitation, strong winds, high temperatures), seasonally strong weather (hail, blowing sand, floating dust), and frequently accompanying weather (light fog, haze-like conditions, prolonged cold/cooling periods). (2) Based on factors such as the frequency of weather occurrences and impact characteristics, the main high-impact weather types in Langfang City were classified into precipitation, strong winds, high temperatures, cold waves, fog, and haze. Among these, precipitation processes were the most frequent, while cold waves were the least frequent. (3) Each type of high-impact weather can combine with other weather phenomena, such as hail, to form various complex weather processes. Strong winds had the highest number of composite weather types, reaching up to 26, while composite types involving fog or haze reached 34. Among all composite types, precipitation accompanied by strong winds occurred most frequently, with an average of 9.8 times per year. (4) Precipitation and strong winds represent cold air influence types, while fog and haze represent static and stable weather conditions. These four weather types were the most active components in various complex processes. Cold waves and high temperatures, as intense weather phenomena characterized by sudden temperature drops and surges, can combine with precipitation, strong winds, fog, haze, and other weather types, with composite types reaching up to 8 and 11, respectively. Abnormal temperatures combined with wind, rain, fog, and haze make weather processes more complex and their impacts more intense. (5) Haze (haze-like) days and multiple compound high-impact weather types show an increasing and more frequent trend with interannual variation, indicating a growing impact on various aspects of human production, daily life, and health. Only through early recognition, early warning, and proactive responses can the advantages be leveraged and the harms mitigated.

Keywords

Cold Wave, Precipitation, Strong Wind, High Temperature, Fog and Haze, Composite, Evolution Characteristics

Copyright © 2025 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

高影响天气是指给社会经济造成损失、影响公众日常生活、威胁生命进而引起高度重视的天气现象 [1]。它不一定是强烈的天气过程，但可对交通、通讯、生产生活和人体健康等多方面造成明显影响，甚至是严重的社会、政治影响以及生命、财产的重大损失[2]-[5]，因此，高影响天气已受到社会各界的高度重视，也因此有诸多学者开展了广泛的研究，如史军等[6]、韩丽娜[7]和郭永婷等[8]分别对长江三角洲、内蒙古地区和韶关等地的高影响天气特征进行了分析，指出 1959~2010 年长江三角洲降雪、大雾、雷暴和低温日数发生了减少突变，高温和暴雨日数发生了增多突变；内蒙古自治区 1973~2021 年高温日数呈显著上升趋势，大风、沙尘暴有减少趋势；韶关市 1965~2019 年高温日数呈现明显增多趋势，暴雨日数、

降雨日数变化趋势总体平稳。在高影响天气形成原因和雷达特征方面,张琳娜和郭锐[9]分析了2012年12月北京持续低温寒冷、2013年1月持续雾霾和1月31日突发冻雨三种高影响天气,指出一个极端天气的出现可能引发其他的极端天气事件;张韬等[10]分析了凉城2019年2月14~15日大雪天气过程,指出深厚且配置完整、呈前倾结构的大尺度环流形势是产生此类天气的前提条件;陈元昭等[11]利用风廓线雷达资料分析并得到了深圳灰霾、大雾、高温、雷暴、台风等高影响天气过程的风廓线特征。在高影响天气预报决策方面,郑明华等[12]总结回顾了集合敏感性分析在诊断中纬度高影响天气预报不确定性中的应用,并指出集合敏感性分析方法可以帮助预报员提高情景意识,减少高影响天气预报中的决策失误。另有一些专家学者针对某些行业领域如机场、铁路、公路、农业、湿地、旅游、大气污染物扩散等方面开展了高影响天气的分析和影响研究,如汪玲瑶等[13]、陈胜东等[14]的研究指出在昌北机场,春夏季雷暴、闪电高发,6月暴雨、大暴雨最多,秋冬季霾高发;在瑞金机场,夏季雷暴、对流性降水、雾、霾、大到暴雨以及结冰是主要的高影响天气。马吉伟等[15]、曲晓黎等[16]、德庆卓嘎等[17]、格央等[18]的研究分别得到了东北地区铁路运营、河北高速公路通行、青藏铁路沿线的高影响天气指标体系、风险预报预警技术方法以及交通气象预报模型。针对高温逼熟现象[19]、宜昌湿地群高温影响度大值区[20]、粤北避暑生态气候适宜性[21]、广西冬季旅游[22]、苏州市大气污染物扩散[23]、黄南州高影响天气可抗御性能[24]等问题的高影响天气影响研究也取得了一些成果。除此,另有一些专家[25]~[28]分析了社会公众对高影响天气事件的关注度,以及为应对高影响天气事件开展了对脆弱人群的人文关注。

上述研究对认识和防范各类高影响天气及其影响具有积极的指导意义。然而,诸多专家均没有对多灾种复合高影响天气进行系列研究,随着气候变暖,复合高影响天气有趋于频发、多发的趋势,廊坊市地处北京、天津两大城市之间,每年寒潮、大风、降水、高温、雾、霾等高影响天气及其复杂的组合出现对当地生产、生活、健康等方方面面的影响日益显著,及早进行深入研究,适时开展早期预报预警及制定更多适应和缓解政策十分重要。

2. 资料和方法

文中所用气象资料来自廊坊市气象观测站2009~2024年降水、大风、雾、霾、气温等综合气象观测资料,各类天气的定义及采用标准如下:寒潮(GB/T 21987-2017)、降水、雾、霾、扬沙、浮尘、轻雾等采用中国气象局地面气象观测规范中定义[29],降水取日降水量 $\geq 0.1\text{ mm}$ 日数、大风(日极大风速 $\geq 10.8\text{ m/s}$,下同)、类霾(日最小能见度 $< 10\text{ km}$,但达不到轻雾或霾的记录标准且排除扬沙、浮尘等其他视程障碍现象,下同)、连续低温(日最低气温且日最高或平均气温之一均较过程开始日偏低,连续时间 $\geq 3\text{ d}$,当日最低气温且日最高或日平均气温均较前1日气温升高时过程结束,连续低温过程中,可有1日气温较前日偏高,则连续时间 $\geq 4\text{ d}$),连续降温定义与连续低温相似,是连续低温的一类,区别是最低气温为连续下降。复合天气,指两种及以上天气在同一天气过程中出现时间或空间上的重叠、相互作用,或连续发生[30]。在上述规范、定义的基础上,应用朱乾根等[31]、申双和和景元书[32]等的研究、同时结合这些天气在廊坊市产生的具体特点和便于应用,将14类天气划分为复合型天气(寒潮、雾、霾(烟))、频发型天气(降水、大风、高温)、季节性强天气(冰雹、扬沙、浮尘)、多伴随型天气(轻雾、类霾、连续低温(降温))。依据天气影响强度、出现频次、能否单独出现等几方面因素,将廊坊市主要高影响天气分为降水、大风、高温、寒潮、雾和霾。采用方法为天气学、气候学和数理统计等。

3. 各高影响天气的复合及演变特征

3.1. 寒潮天气

2009~2024年廊坊市共发生寒潮过程27次,平均每年1.7次,最多年份2019年达4次,最少年份

2010 年、2016 年均为 0 次。2017~2024 年每年寒潮至少发生 1 次, 呈连年出现且频发的趋势, 其中 2019 年、2021~2023 年均达 3 次以上, 为近 20 年来少见。2009~2016 年的 8 年间寒潮发生 9 次, 其余 18 次均发生在最近的 8 年间, 为前期的 2 倍, 由此可见, 近 20 年随年际变化, 寒潮发生次数没有减少, 反而呈频发、多发的趋势, 与杜海涛等之前的寒潮减少趋势[33]发生明显变化。

寒潮天气发生时, 主要是以多种复合高影响天气的形式出现, 伴随的高影响天气类别较多, 组合比较复杂, 主要有 8 类形式(表 1), 其中寒潮伴降水伴大风、寒潮伴降水伴大风伴雾、寒潮伴大风三类天气过程所占比例较高, 分别为 18.5%、22.2% 和 33.3%, 累计占比达 74.1%, 是廊坊市寒潮的主要天气类型。复合高影响天气中以降水、大风所占的比例较高, 分别为 59.5% 和 88.9%, 连续低温或连续降温作为伴随天气, 所占比例达 63%。除此, 伴有轻雾的比例也较高, 除寒潮伴大风天气外, 其余寒潮过程伴有轻雾的比例均达 80% 以上。

廊坊市寒潮主要发生在 10~12 月、1 月和 3~4 月, 最多月为 11 月, 占比达 40.7%。分析发现, 2017 年之后 11 月中下旬~1 月的寒潮次数呈明显增多趋势, 由 2017 年之前的占比 22.2% 上升至 61.1%, 寒冷季节频发强冷空气活动, 气温偏低程度更加显著、使得寒潮天气对人类的不利影响时段增长、程度更重。另外, 随年际变化, 寒潮的天气组合类型也较之前变得更为复杂, 2009~2016 年寒潮天气复合类型主要是 4 种: 寒潮伴降水伴大风、寒潮伴降水伴雾、寒潮伴降水、寒潮伴大风, 其他伴随天气主要为轻雾、连续低温或连续降温; 2017 年之后寒潮天气复合类型增至 8 种, 主要是霾天气增多, 其次类霾天气增多, 连续降温的比例也略有上升, 从表 1 中可见, 由于霾、类霾天气的增多, 寒潮天气的复合形式及影响特征变得更复杂, 通常霾、类霾天气下大气中伴有一定程度的污染现象, 寒冷叠加空气污染, 使得此类大气环境下的生产、生活及健康条件变差, 对人类不利影响的风险增加。

Table 1. Compound forms and characteristics of high-impact weather associated with cold waves
表 1. 寒潮的高影响天气复合形式及特征

寒潮过程强天气复合类型	占比/%	其他伴随天气	轻雾占比/%	连续低温占比/%
寒潮 + 大风	33.3	轻雾、连续低温(降温)	44.4	44.4
寒潮 + 降水 + 大风 + 雾	22.2	轻雾、类霾、连续低温(降温)	100	66.7
寒潮 + 降水 + 大风	18.5	轻雾、连续低温(降温)	80	60
寒潮 + 降水	7.4	轻雾、类霾、连续低温	100	100
寒潮 + 大风 + 霾	7.4	轻雾、类霾、连续低温(降温)	100	100
寒潮 + 降水 + 霾	3.7	轻雾、连续降温	100	100
寒潮 + 降水 + 大风 + 霾	3.7	轻雾、连续低温	100	0
寒潮 + 降水 + 大风 + 雾 + 霾	3.7	轻雾、连续低温	100	100

3.2. 降水天气

统计结果显示: 降水是廊坊市高影响天气过程中发生频次最多的一类, 共 463 次, 平均每年 28.9 次, 最多年份 2015 年达 33 次, 最少年份 2017 年为 21 次, 最多最少年相差 12 次。寒潮天气伴降水过程有 16 次、复合类型 6 种, 其余 447 次、11 种复合类型, 占比从大到小分别为: 降水(1 型)、降水伴大风(2 型)、降水伴大风伴霾(烟)(3 型)、降水伴霾(烟)(4 型)、降水伴雾(5 型)、降水伴大风伴雾(6 型)、降水伴大风伴雾伴霾(烟)(7 型)、降水伴大风伴扬沙(浮尘)(8 型)、降水伴雾伴霾(烟)(9 型)、降水伴大风伴霾(烟)伴扬沙(浮尘)(10 型)、降水伴大风伴雾伴霾伴浮尘(11 型), 其他伴随天气主要有轻雾、类霾、连续低温、连续降

温和冰雹。1型和2型降水过程是降水的主要类型，累计占比达70%，伴随天气中轻雾的比例最高，占比平均达97%，其次是连续低温，平均为26.1%，伴类霾天气平均占比为22%，连续降温最少，平均为15.6%。冰雹作为一种强对流天气，伴随出现在几类降水过程中，其中55.5%出现在2型降水过程中，其余出现在1型、3型、7型、8型降水过程中，均各1例。分析中发现，随气温上升、大气环境的变化[34]，降水过程中的高影响天气组合趋于更加复杂化，表现为1型、2型降水过程占比呈下降趋势(图1)，其中，2013年、2023~2024年1型、2型降水过程累计占比均低于60%，其中2013年仅占13%，而最高年份可达92%，原因是这些年份的3型、4型降水过程明显增多，也即是霾日的明显增多；2020~2022年、2016~2022年3型、4型降水过程有所下降，但2015年之后5~9型及11型降水伴雾、伴扬沙、伴浮尘的过程又呈增加趋势，其中2023~2024年降水复合类型分别达7~8种。除此，在伴随天气中，1、2型降水过程均有伴轻雾天气的比例略下降、伴类霾天气的比例上升；1型降水过程伴连续降温的比例略下降，2型过程伴连续降温的比例增加；降水伴雾过程伴连续低温、连续降温的比例均有增加；降水伴大风伴雾呈增加趋势，且伴连续低温的比例也呈增加趋势；降水伴霾、降水伴大风伴霾、降水伴大风伴雾伴霾，呈阶段性增加或减少。总体上看，降水伴大风、降水伴雾过程伴连续低温、连续降温的趋势增加，即寒凉感增强，除此，有6类降水过程伴35℃以上高温天气，与寒凉感相对，湿热天气也在增加(3.6节分析，下同)，使得降水过程中高影响天气的组合趋于更复杂、影响更重的变化。

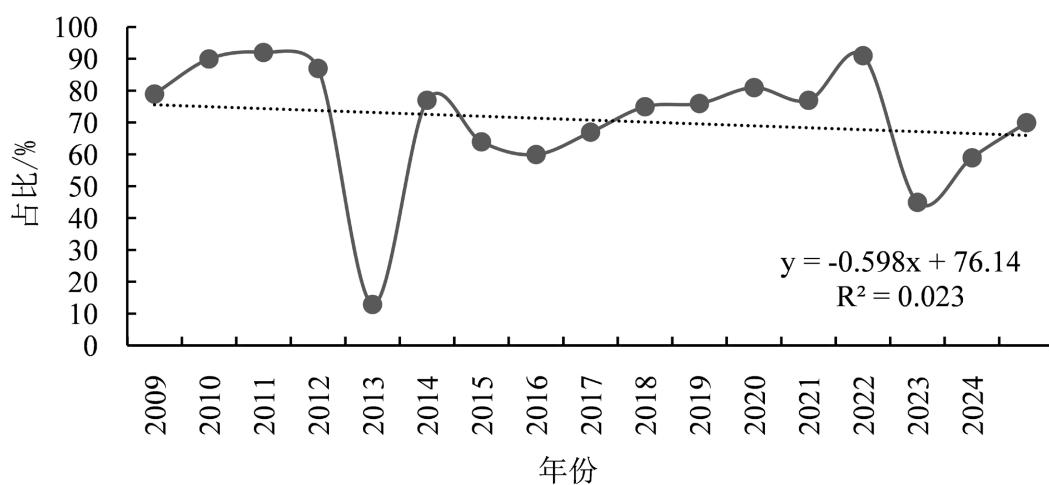


Figure 1. Distribution changes in the annual proportion of type 1-2 precipitation processes
图 1. 1-2型降水过程年占比的分布变化

3.3. 大风天气

6级以上大风过程是廊坊市仅次于降水的另一类频发高影响天气过程，16年间共发生457次，年平均28.6次，其中寒潮伴大风24次过程、6种复合类型，降水伴大风244次过程、7种复合类型，其余大风过程189次、8种复合类型；除寒潮、降水伴大风过程外，其余大风复合类型占比从多到少依次为大风(I型)、大风伴霾(烟)(II型)、大风伴霾伴扬沙(III型)、大风伴扬沙(IV型)、大风伴雾伴霾(V型)、大风伴雾(VI型)、大风伴雾伴霾伴扬沙(VII型)、大风伴雾伴扬沙(VIII型)，其中I型最多，占比达56.1%，II型其次，占比24.9%，I型和II型累计占比达80.9%，是大风天气过程的主要类型，大风过程伴随的天气主要有轻雾、类霾、连续低温和连续降温，在大风伴雾、霾的过程中，轻雾出现的比例较高，均达70%以上，其余均在35%以下；类霾天气主要出现在大风伴雾伴霾的过程中，平均占比达57.1%，其余过程均在25%以下；连续低温在大风过程中的占比为21%~43%，以大风伴霾伴扬沙过程为最高；连续降温主要

出现在 I~III 型和 V~VI 型中, 但占比均在 25% 以下, 以大风伴雾为最高。从伴随天气的占比分布可见, 相比寒潮、降水天气过程, 大风过程的寒、湿程度有明显下降。

从逐年分布看, 近 20 年廊坊市大风过程呈波动减少的趋势, 但年最多、最少趋向分布集中(图 2), 大风过程最多年份为 2017 年达 21 次, 最少年 2023 年 7 次, 最多、最少年均出现在近 8 年间。此外, 随着霾日的增多, 2013 年之后, 大风伴霾过程明显增多, 大风伴扬沙、大风伴雾也有连年出现和增多的变化, 在伴随天气中, I 型大风过程伴轻雾的比例有减少趋势, I、II、III、V 型大风过程类霾天气均有增加的趋势, I 型、II 型大风伴连续低温的过程有连年出现的演变特征, 风寒趋势增加, 除此, 有 5 类大风过程伴高温天气, 使得大风高影响天气组合类型增多、风热程度增加、过程更复杂。综上分析可见, 随年际变化, 雾、霾、类霾、扬沙、连续低温、高温等天气与大风复合, 使得大风过程有趋于更复杂的演变趋势, 影响增强。

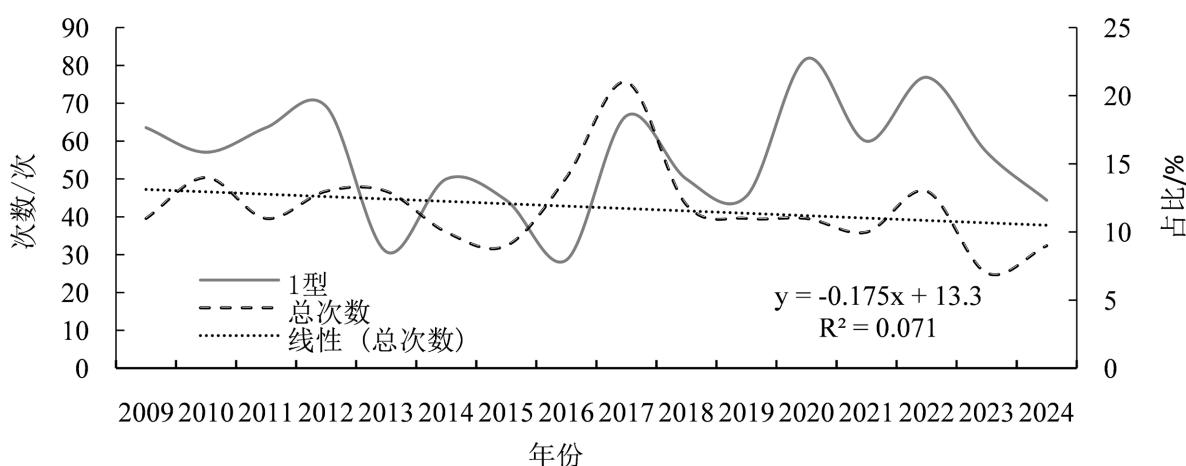


Figure 2. Annual distribution of strong winds and type I strong wind proportions
图 2. 大风及 I 型大风占比的年分布

3.4. 雾、霾天气

雾、霾、烟均为视程障碍类天气现象, 其中烟观测主要出现在 2013 年之前, 2013 年之后观测上主要记录霾天气, 从天气相似性角度便于分析, 将烟与霾归类一起统计, 并以雾、霾天气为主进行分析。

雾、霾天气可单独出现, 多与大气静稳形势相关[34], 除此, 在冷空气影响前后、降水天气前后的部分时段也可与降水、大风等天气复合组成多种复杂的天气过程, 其中与降水相伴的比例最高(图 3), 占雾、霾总过程的 35.2%, 降水伴雾的过程比伴霾多, 雾伴降水占雾总过程的比例达 31.9%; 与大风相伴的雾、霾过程占雾、霾总过程的 17.9%, 其中大风伴霾比伴雾多, 霾伴大风占霾过程的 19.3%, 寒潮发生次数少, 伴雾、霾的比例较其他天气过程低。单独出现的雾、霾过程, 主要有 3 种类型: 雾、霾、雾与霾相伴, 累计占雾、霾总过程的 29.7%, 仅次于伴降水过程。

雾、霾、雾与霾相伴(雾 - 霾, 下同)在单独雾、霾过程中的比例分别为 15.7%、66.7% 和 17.6%, 伴随天气主要有轻雾、类霾、连续低温和连续降温, 轻雾在雾、雾 - 霾过程中占比均为 100%, 在霾过程中占比为 77.9%; 类霾在雾 - 霾过程中占比为 26.3%, 其次是霾过程为 10.3%, 在雾过程中为 6.3%; 连续低温在 3 类过程中占比从大到小依次为雾 - 霾, 霾、雾, 占比依次为 10.5%、10.3%、6.3%; 连续降温在 3 类过程中的占比从大到小依次为雾 - 霾, 雾、霾, 占比依次为 10.5%、6.3%、1.5%。由此可见, 雾、霾混合相伴天气过程伴轻雾、类霾、连续低温、连续降温的比例均较高, 表现出复合雾、霾天气相比单独雾、

霾天气更具复杂性的特点。

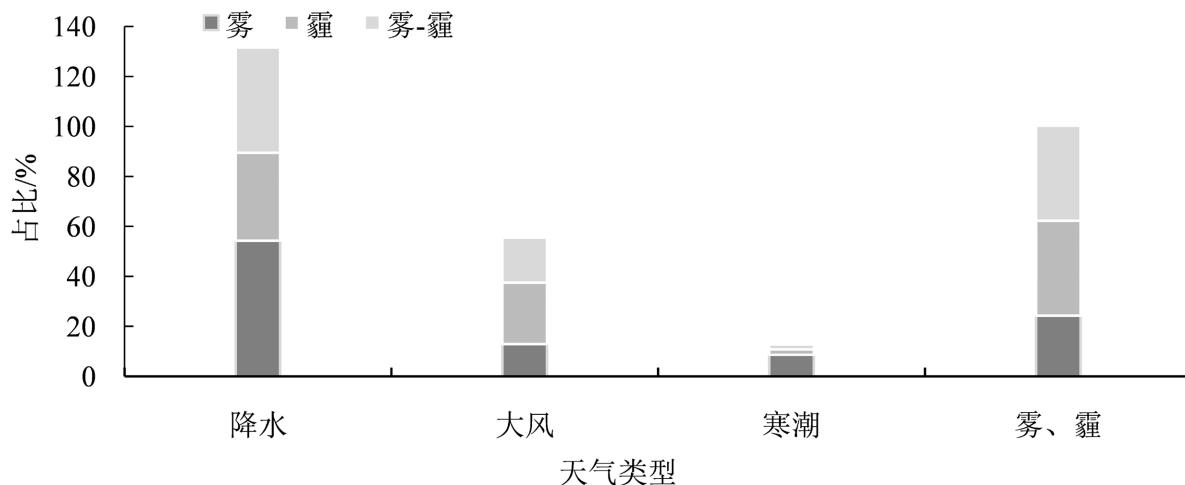


Figure 3. Distribution of fog and haze weather in high-impact weather processes

图 3. 雾、霾天气在高影响天气过程中的分布

进一步分析雾、霾天气过程的分布、变化发现(图 4), 随年际变化, 雾呈弱频发趋势, 霾、雾-霾相伴天气自 2013 年起有明显增多、频发趋势, 同时随大气环境条件不同呈阶段性变化, 较多年份集中在 2013~2016 年。伴随天气的变化特点: 雾天气过程, 伴轻雾的比例达 100%, 其变化与雾的变化趋势一致; 类霾、连续低温、连续降温在雾过程中发生次数较少, 只有 1 次, 均出现在 2019 年之后; 霾过程中, 轻雾、类霾与霾变化特征相似, 2013 年之后有频发且随年份呈波动变化的特点, 连续低温、连续降温主要出现在霾多发的年份中; 雾-霾天气过程中, 伴有轻雾的比例达 100%, 类霾呈弱频发和年际波动变化的特点, 连续低温、连续降温发生次数少, 但雾-霾多发的年份出现概率也相对较高。值得注意的是: 类霾天气增多的原因除与大气环境条件相关外, 也与 2016 年之后自动站建设及数据的加密观测有一定关系。

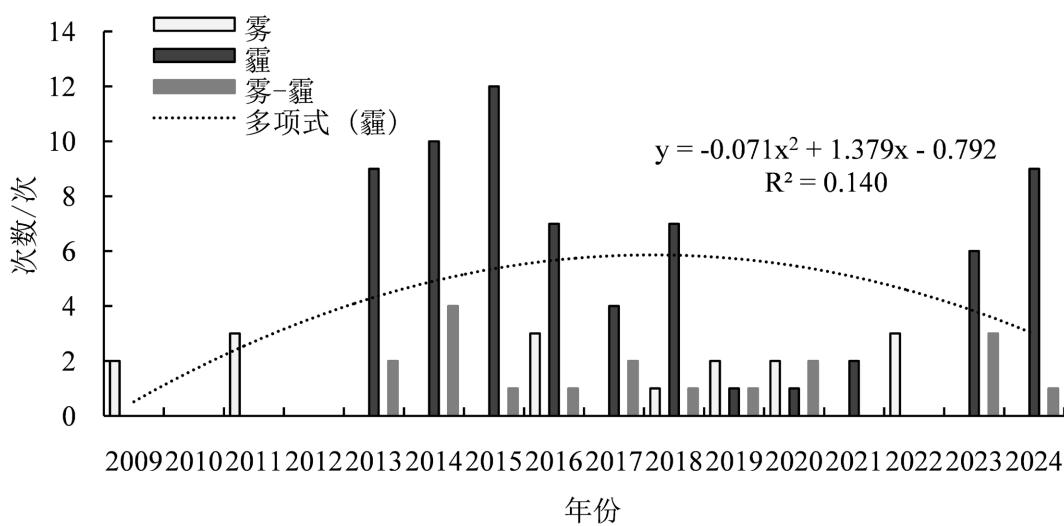


Figure 4. Annual distribution changes of fog and haze processes

图 4. 雾、霾过程的年分布变化

3.5. 轻雾 - 类霾 - 连续低温

连续3天及以上的轻雾、类霾、连续低温可单独出现，但主要作为伴随天气出现，伴随的比例分别达74.8%、56.7%和88%，其中连续低温主要是伴随寒潮、降水、大风等高影响天气出现，上述几类天气单独出现时，年平均出现次数分别为8.1次、5.5次和2次，连续降温作为连续低温的一种类型，发生次数仅为0.4次。

随年际变化，轻雾过程呈较明显的波动下降趋势(图5)，轻雾伴类霾(轻雾-类霾，下同)、类霾过程总体呈增加趋势，除此，轻雾、类霾、轻雾伴类霾相比雾、霾、雾伴霾强度偏弱、影响偏小，其伴连续低温和连续降温的比例偏低，在轻雾伴类霾过程中略偏高为13.3%、轻雾过程中为10.9%、类霾为7.7%，伴随出现的连续低温、连续降温主要与前期冷空气影响后出现3~5级风的影响相关。

连续低温、连续降温在伴随寒潮、大风、降水等高影响天气中的比例分别达88%和92.7%，其余主要与轻雾、类霾等天气伴随出现，单独出现时次数较少，占比分别为3%和1%，此时连续低温、连续降温的形成主要由于4级左右小风造成，但总体降温幅度小，影响偏小。

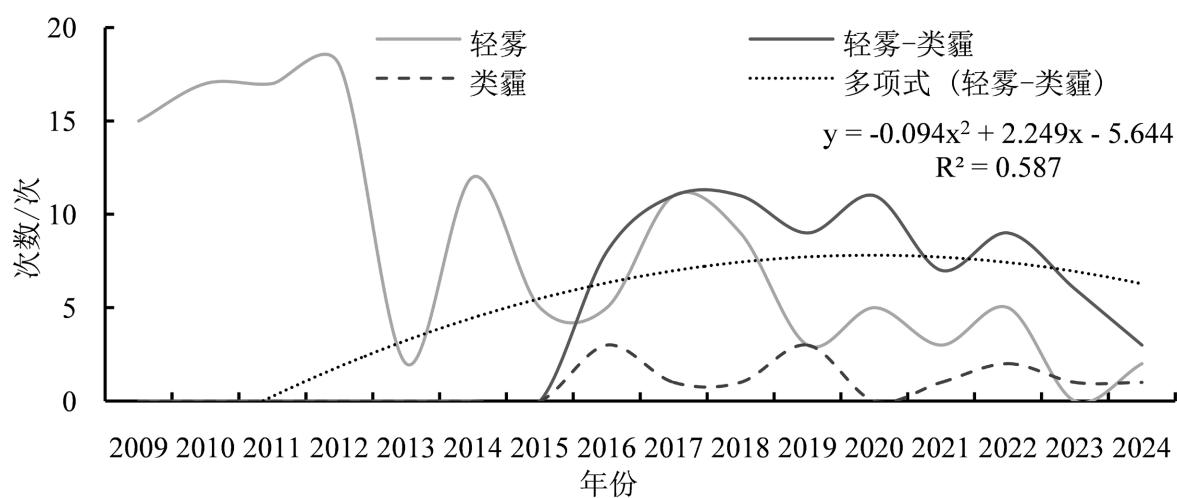


Figure 5. Interannual variation of light fog and haze-like weather

图5. 轻雾、类霾天气的年际变化

3.6. 高温

随气候变暖，高温(日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ ，下同)天气频发已引起社会各界更多、更广泛的关注。分析2009~2024年廊坊市高温天气发现，按高温日数统计，年平均高温日数为14.9 d，按过程统计平均每年7.4次，每隔2~3年具有一个峰谷值变化(图6)，显示出一定的周期性。随年际变化，高温日数呈明显波动上升的趋势，最多年出现在2023年，12次高温过程，高温日数32 d，最少2021年，2次高温过程高温日数4 d；除高温总日数有增多趋势外，连续高温日数也有较明显的变化，由2017年之前的最长连续2~4 d高温日，演变为2017年之后的3~6 d，且连续6 d出现高温的年份有较明显的增加，达到3年。除此，高温初、终日有提前和延后现象，16年间最早高温日出现在2020年5月1日，最晚高温日出现在2019年9月8日，分别较近20年高温的平均初、终日偏早近29 d和偏晚约33 d。

分析高温的复合天气特点发现，高温可与降水、大风、雾、霾等天气组合形成11种复合形式，表现为雨后高温、高温后降水、大风后高温、高温后雷暴大风等，占比从多到少依次为高温(I型)、高温伴降水(II型)、高温伴降水伴大风(III型)、高温伴大风(IV型)、高温伴霾(V型)、高温伴降水伴大风伴霾(VI型)。

型)、高温伴雾(VII型)、高温伴降水伴大风伴扬沙(VIII型)、高温伴大风伴扬沙(IX型)、高温伴降水伴雾(X型)、高温伴降水伴霾(XI型)，其中I~IV型占比分别达66.9%、18%、6.3%和5%，累计占比达96.2%，其余每种类型均不足1%，I型和II型是高温出现的主要类型，且I型与年总高温日数的变化趋势一致(图6)。高温的加入及其变化，使得除寒潮外的高影响天气复合类型均有2~6种不同程度的增加，其中大风、降水复合类型分别增加至26种和23种。以下以高温天气为例说明随年际变化高温及其复合类型的演变特征(图7)，2009~2012年高温复合类型主要有5种，连续高温日数为2~4d，最早初日、最晚终日分别为5月18日和8月14日，2013年随霾日增多，高温复合天气类型增加2种，随后至2022年逐渐增加至11种；高温开始、结束日出现提前、延后现象，最早开始2020年提前17d，最晚结束2019年延后25d；2017年之后高温总日数呈明显增加趋势、2017~2019年出现一个明显高峰时段、2022~2024再次出现另一个更明显的高峰时段(图6，图7)；除此，2018~2019年、2023~2024年连续高温日数达到5~6d，均为历史罕见；高温及其复合天气过程的演变，使得高影响天气过程的影响更加复杂和强烈，需引起高度重视。

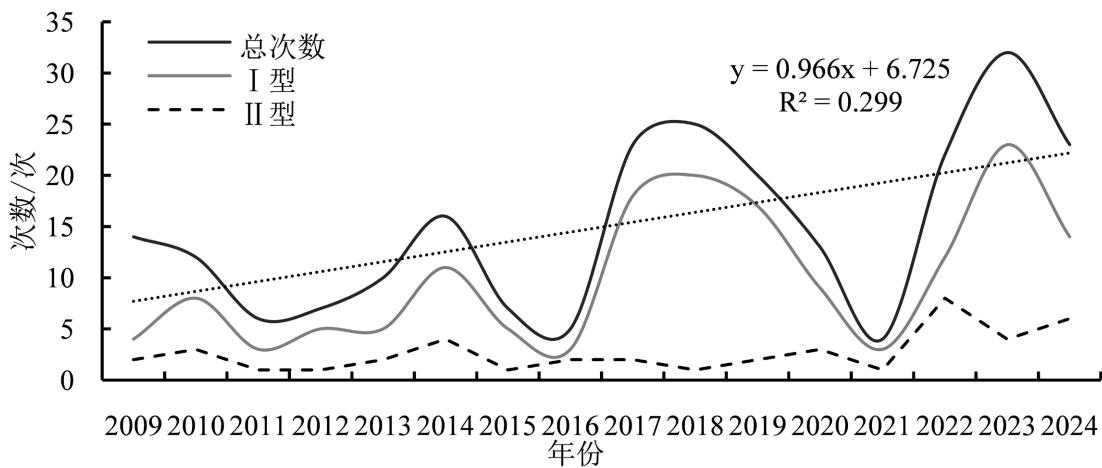


Figure 6. Annual variation of high temperature weather
图6. 高温天气的年变化

3.7. 扬沙、浮尘、冰雹

扬沙、浮尘、冰雹属于季节性强天气，这几类天气一般不单独出现，多伴随出现在降水伴大风、大风等天气过程中，这类过程其余的伴随天气有轻雾、类霾、连续低温和连续降温。值得关注的是，出现扬沙、浮尘的天气过程伴连续低温、连续降温的比例达45.9%。

扬沙、浮尘天气平均每年出现2.3次，随年代变化，呈连年出现且有年次数减少的趋势(图略)，但极值出现在2021年，达6次。扬沙、浮尘可参与组成10种复合类型，其中大风伴扬沙、降水伴大风伴扬沙、大风伴霾伴扬沙为主要类型，累计占比70.3%，除此，随高温日发生提前和霾天气增多，扬沙、浮尘参与的复合天气类型也趋于复杂化。

冰雹发生具有强局地性特点，2009~2024年观测站点共观测到冰雹9次，主要出现在2015~2016年和2019~2021年，除2015年1次外，其余4年每年2次。冰雹参与5种复合天气形式，其中降水伴大风伴冰雹出现5次，其余为降水伴冰雹、降水伴大风伴霾伴冰雹、降水伴大风伴雾伴霾伴冰雹和降水伴大风伴扬沙伴冰雹，均各1次。随年际变化，有略频发、多发的趋势(图略)，但个例总体较少，需继续关注。

扬沙、浮尘、冰雹作为季节性强天气，随年际变化与其他高影响天气复合形式增多，且有频发、连年多发、复杂多变等特点，虽个例偏少，但多为强天气，复合出现时对人类的影响增大，值得关注。

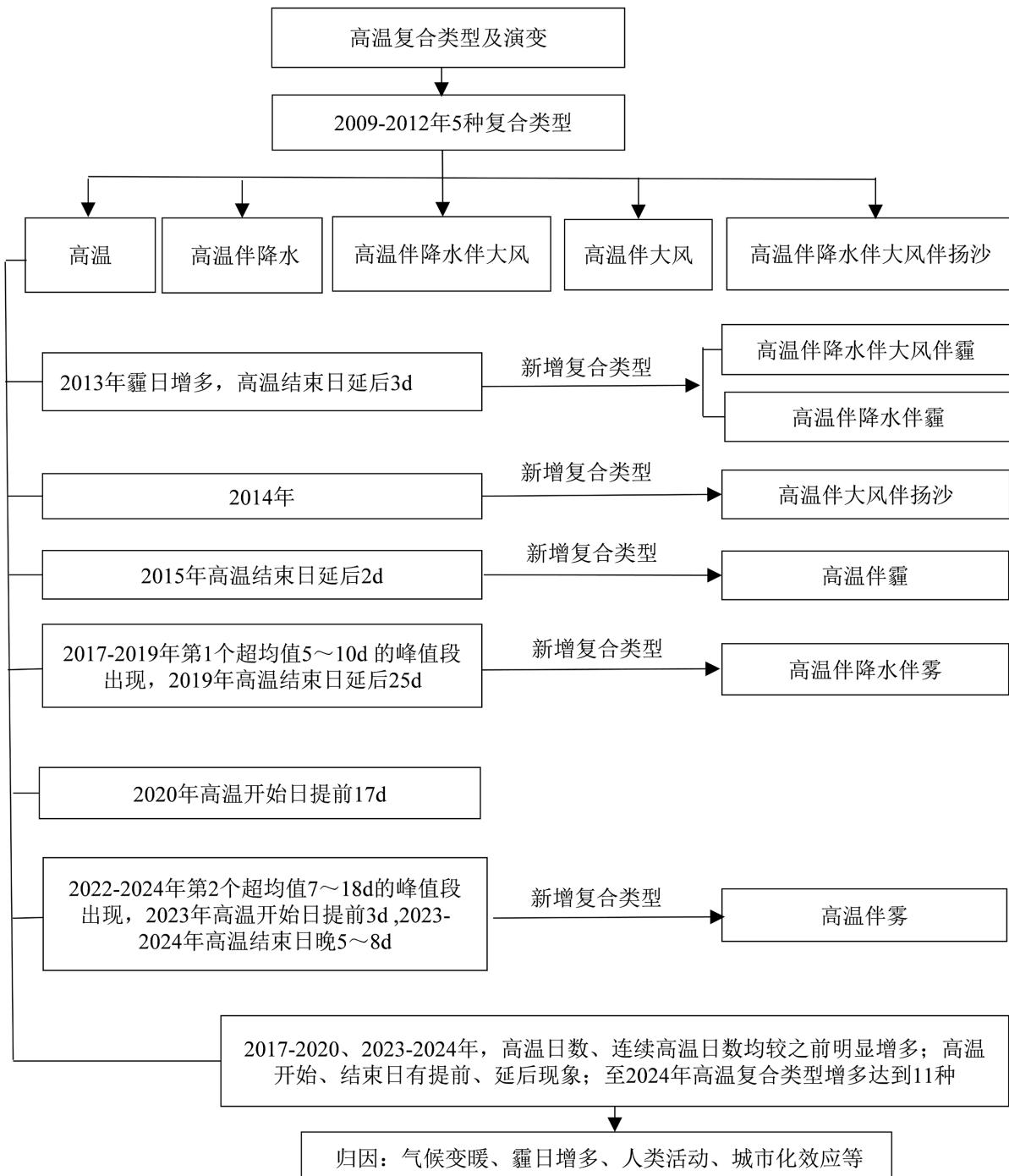


Figure 7. Composite and evolution characteristics of high-temperature weather
图 7. 高温天气的复合及演变特征

4. 结论与讨论

通过上述深入细致地分析, 得到如下结果:

- (1) 廊坊市常见天气可划分为4种类型:多复合型天气(寒潮、雾、霾(烟))、频发型天气(降水、大风、高温)、季节性强天气(冰雹、扬沙、浮尘)、多伴随型天气(轻雾、类霾、连续低温(降温));主要高影响天

气为降水、大风、高温、寒潮、雾和霾，每一类高影响天气的复合类型均可达8种以上，大风天气最多可达26种，有雾、霾相伴的复合天气形式可达34种。

(2) 降水、大风和雾、霾分别代表冷空气活动影响型和大气环流形势静稳型，是多种复杂、交织天气过程中最重要、最活跃的成员。

(3) 寒潮和高温表现出较强烈的气温骤降或飙升特点，可与降水、大风、雾、霾等分别最多可形成8种和11种复合天气类型，也使得其他高影响天气复合类型增多，气温的骤降或飙升叠加风、雨、雾、霾使得天气过程的影响更为复杂和强烈。

(4) 霾日增多，以及寒潮、高温等天气发生日期的提前、延后、延长等时间上的改变使得复合过程中叠加的降水、大风、雾、霾以及冰雹、扬沙、浮尘等其他高影响天气的复合形式更趋于复杂化，天气过程的影响趋强。

针对2013~2016年霾日的增多与人类活动、气候变暖、气温上升以及城市化效应等的影响有关，随着2013年开始的持续大气环境治理、污染排放源严格达标控制等一系列蓝天行动，2016年之后霾日呈波动减少的年际变化，但气候变暖、城市效应等几种因素的协同影响，霾过程的连年出现仍不容忽视，同时多灾种强天气的复合类型呈增多、频发趋势，影响趋强，及早认识、早期预警、积极应对才能趋利避害。

基金项目

廊坊市科学技术研究与发展计划自筹经费项目(2023013212)和廊坊市气象局强对流短临预警创新团队(2550102006)资助。

参考文献

- [1] 吴瑕, 郑簪舟, 陈琳, 等. 包头市高影响天气历史统计[J]. 农业灾害研究, 2022, 12(5): 99-101+104.
- [2] 蒋建莹, 史历, 倪允琪. 一次“高影响天气”的弱降雪过程的数值研究[J]. 应用气象学报, 2005(2): 231-237.
- [3] 万日金. 高影响天气对上海世博会日客流量的影响[J]. 大气科学研究与应用, 2011(1): 12-19.
- [4] 谭玉龙, 尹岭, 王式功, 等. 不同地区温度变化对缺血性心脑血管疾病影响的比较研究[J]. 气象与环境学报, 2019, 35(3): 94-99.
- [5] 路屹雄, 王元. 一次高影响天气事件——延边 2.13 一氧化碳中毒事件分析[J]. 南京大学学报(自然科学), 2008, 44(3): 258-272.
- [6] 史军, 陈伯民, 穆海振, 等. 长江三角洲高影响天气演变特征及成因分析[J]. 高原气象, 2015, 34(1): 173-182.
- [7] 韩丽娜. 1973年-2021年内蒙古地区春夏季高影响天气变化特征分析[J]. 内蒙古科技与经济, 2023(6): 96-101.
- [8] 郭永婷, 李曹明. 韶关市1965-2019年高影响天气变化特征分析[J]. 韶关学院学报, 2021, 42(12): 24-29.
- [9] 张琳娜, 郭锐. 2012年冬季北京三种高影响天气的关联与成因分析[J]. 气象, 2014, 40(5): 598-604.
- [10] 张韬, 王沛, 李敏, 等. 凉城地区冬季高影响天气概况及个例分析——以大雪天气过程为例[J]. 内蒙古科技与经济, 2024(22): 103-106+139.
- [11] 陈元昭, 彭勇刚, 王明洁, 等. 深圳市高影响天气的风廓线雷达特征[J]. 广东气象, 2010, 32(3): 12-16.
- [12] 郑明华, 杜钧, Brian A. Colle. 集合敏感性分析在北半球中纬度高影响天气中的应用[J]. 气象科技进展, 2020, 10(2): 42-57.
- [13] 汪玲瑶, 温新龙, 徐卫民, 等. 1956-2019年昌北国际机场高影响天气变化特征[J]. 气象与减灾研究, 2021, 44(4): 311-317.
- [14] 陈胜东, 李翔翔, 徐卫民, 等. 瑞金机场高影响天气气候特征分析[J]. 亚热带资源与环境学报, 2020, 15(1): 51-60.
- [15] 马吉伟, 谢静芳, 祁晓磊. 东北地区高影响天气对铁路影响分析及指标[J]. 气象灾害防御, 2016, 23(2): 29-32.
- [16] 曲晓黎, 张娣, 郭蕊, 等. 高速公路高影响天气风险预报预警技术[J]. 气象科技进展, 2020, 10(4): 51-53.

- [17] 德庆卓嘎, 格央, 尼琼. 青藏铁路西藏段沿线高影响天气预报服务研究[J]. 西藏大学学报(自然科学版), 2014, 29(2): 102-106.
- [18] 格央, 德庆卓嘎, 次旦巴桑. 青藏铁路高影响天气指标及实况数据订正反演[J]. 高技术通讯, 2016, 26(Z1): 792-798.
- [19] 黄思先, 王保, 陈正洪. 鄂州市近 60 年高影响天气变化特征及其对农业的影响[J]. 湖北农业科学, 2020, 59(10): 38-43.
- [20] 成勤, 王清龙, 罗剑琴, 等. 宜昌湿地群高影响天气特征及影响度分析[J]. 水利水电技术(中英文), 2022, 53(S1): 17-25.
- [21] 黄观荣, 罗烨泓, 邓裕强, 等. 粤北避暑生态气候适宜性及高影响天气分析[J]. 韶关学院学报, 2020, 41(12): 69-74.
- [22] 李艳兰, 李妍君, 丘平珠, 等. 1961-2020 年广西冬季旅游高影响天气的变化特征[J]. 气象研究与应用, 2022, 43(2): 45-51.
- [23] 邹勋, 周雪城, 蒋琳, 等. 高影响天气对苏州市大气污染物特征的影响[J]. 环境监测管理与技术, 2015, 27(1): 9-13+45.
- [24] 赵和梅. 黄南州高影响天气事件类型及其可抗御性能分析[J]. 青海科技, 2011, 18(6): 72-75.
- [25] 刘璐, 赵东, 赵西社. 陕西社会公众对高影响天气事件的风险关注度差异比较[J]. 气象科学, 2008, 28(5): 586-590.
- [26] 孙燕玲, 闫爱霞, 王健. 基于信息扩散理论的淄博市高影响天气关注度研究[J]. 陕西气象, 2023(2): 74-80.
- [27] 罗慧, 张雅斌, 刘璐, 等. 高影响天气事件公众关注度的风险评估[J]. 气象, 2007, 33(10): 15-22.
- [28] 祁新华, 程煜, 郑雪梅, 等. 国内高温热浪研究进展及其人文转向[J]. 亚热带资源与环境学报, 2017, 12(1): 26-31.
- [29] 中国气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京: 气象出版社, 2003: 21-23.
- [30] 科学网. 丁一汇: 极端气候事件的成因、影响与应对[EB/OL]. <https://news.sciencenet.cn/htmlnews/2025/8/549091.shtml>, 2025-08-06.
- [31] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理和方法[M]. 北京: 气象出版社, 2007: 247-437.
- [32] 申双和, 景元书. 农业气象学原理[M]. 北京: 气象出版社, 2017: 253-255.
- [33] 杜海涛, 郭立平. 廊坊市灾害性天气预报手册[M]. 北京: 气象出版社, 2019: 129-131.
- [34] 郭立平, 王梦, 王鹤婷. 廊坊雾、霾日的地温特征及地震活动的可能影响[J]. 环境工程技术学报, 2021, 11(5): 837-844.