Climate Change Research Letters 气候变化研究快报, 2026, 15(6), 1206-1214
Published Online November 2026 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/ccrl
https://doi.org/10.12677/ccrl.2026.156127

新疆乌苏市雾的变化特征及气象要素分析

张　玉[1]，许　铭[2*]，努尔兰·木西亚[1]，袁晨昊[3]

[1]乌苏市气象局，新疆　乌苏
[2]塔城地区气象局，新疆　塔城
[3]裕民县气象局，新疆　塔城

收稿日期：2026年10月5日；录用日期：2026年11月4日；发布日期：2026年11月10日

摘　要

利用2016~2025年乌苏国家基准气候站逐小时地面观测资料，统计分析乌苏市雾的变化特征及雾发生时地面气象要素变化规律，结果表明：近10年乌苏市雾的出现时数波动剧烈，2016和2023年是雾天高发期，出现雾时数分别为312小时和315小时，雾出现最早时间为10月中旬，最晚时间为4月下旬。雾日在10月至次年4月均出现，季节差异显著，冬季雾最频繁、强度最高，夏季完全无雾，春秋为过渡阶段。大雾出现频次与总雾时数的日变化趋势高度一致，整体呈典型的双峰型分布，主峰值出现在11时，对应09~12时为高频时段；次峰值出现在夜间23时，对应21时至次日02时为次高频时段。大雾、浓雾及强浓雾主要集中出现在相对湿度85%~100%区间，总占比86%，各级雾事件的占比高值集中于2~8℃日温差区间内，集中出现在0~2 m/s的弱风速环境中，北风、东北风为雾天气主导风向。

关键词

大雾，浓雾，相对湿度，风速

Analysis of Fog Variation Characteristics and Meteorological Elements in Wusu City, Xinjiang

Yu Zhang[1], Ming Xu[2*], Muxia Nuerlan[1], Chenhao Yuan[3]

[1]Wusu City Meteorological Bureau, Wusu Xinjiang
[2]Tacheng Prefecture Meteorological Bureau, Tacheng Xinjiang
[3]Yumin County Meteorological Bureau, Tacheng Xinjiang

Received: October 5, 2026; accepted: November 4, 2026; published: November 10, 2026

*通讯作者。

文章引用: 张玉, 许铭, 努尔兰·木西亚, 袁晨昊. 新疆乌苏市雾的变化特征及气象要素分析[J]. 气候变化研究快报, 2026, 15(6): 1206-1214. DOI: 10.12677/ccrl.2026.156127

Abstract

Utilizing hourly ground observation data from the Wusu National Benchmark Climate Station spanning 2016 to 2025, this study statistically analyzes the characteristics of fog changes in Wusu City and the patterns of ground meteorological element variations during fog occurrences. The results indicate that the occurrence hours of fog in Wusu City have fluctuated significantly over the past decade. The years 2016 and 2023 were periods with high fog occurrences, with 312 hours and 315 hours of fog, respectively. The earliest occurrence of fog occurred in mid-October, while the latest was in late April. Fog days occurred from October to April of the following year, exhibiting significant seasonal differences. Fog was most frequent and intense in winter, completely absent in summer, and transitioning in spring and autumn. The frequency of heavy fog occurrences closely aligns with the daily variation trend of total fog hours, exhibiting a typical bimodal distribution. The primary peak occurs at 11:00, with a high-frequency period from 09:00 to 12:00; the secondary peak occurs at 23:00 during the night, with a sub-high-frequency period from 21:00 to 02:00 the following day. Heavy fog, dense fog, and very dense fog mainly occur within a relative humidity range of 85% to 100%, accounting for 86% of the total. The high proportion of various fog events is concentrated within a daily temperature difference range of 2~8˚C, predominantly occurring in weak wind speeds of 0~2 m/s. North and northeast winds are the dominant wind directions during foggy weather.

Keywords

Heavy Fog, Dense Fog, Relative Humidity, Wind Speed

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

雾是近地面层空气中水汽凝结形成的悬浮水滴或冰晶集合体，可显著降低大气能见度，是公路交通、工矿生产、民航运输等领域典型的灾害性天气，同时对局地大气扩散能力、设施农业产生重要影响[1]-[5]。乌苏市坐落于天山北麓、准噶尔盆地西南缘，境内有铁路、312 国道、G30 连霍高速、规划建设的乌苏机场。地形兼具山地、平原、荒漠特征，局地热力环流复杂，静稳天气多发，导致大雾天气频发，常年对辖区道路交通、群众安全出行造成较大影响，因此开展本地雾天气演变规律及影响气象因子研究，对提升精细化雾预报预警能力、完善防灾减灾服务体系具有现实业务价值。

长期以来，国内诸多学者围绕北疆盆地雾的时空演变、形成物理机制开展了系统性研究，厘清了风速、风向、温湿度等气象要素对雾生成、维持、消散的主要作用[6] [7]；但现有成果多聚焦北疆大范围区域，针对乌苏本地雾的定量耦合统计分析较为欠缺。本文依托乌苏国家基准气候站长期地面观测资料，统计不同等级雾的发生占比，定量分析雾天气在相关影响气象因子中的分布差异，揭示乌苏区域雾的局地变化特征及关键气象影响因子。研究结论可为本市递进式气象预警服务、交通气象保障、农业气象防灾工作提供技术支撑，进一步筑牢气象防灾减灾第一道防线。

2. 资料与方法

所用资料为乌苏国家基准气候站 2016~2025 年逐时能见度、相对湿度、温度、风速、风向、天气现

象等观测资料；季节划分采用 3~5 月为春季，6~8 月为夏季，9~11 月为秋季，12 月~次年 2 月为冬季；雾的划分采用国家标准《雾的预报等级》(GB/T27964-2011)按能见度将雾分为 5 个等级，即轻雾(1000 m ≤ v < 10000 m)、大雾(500 m ≤ v < 1000 m)、浓雾(200 m ≤ v < 500 m)、强浓雾(50 m ≤ v < 200 m)和特强浓雾(v < 50 m) [8] [9]，因雾的影响程度本文主要研究能见度小于 1000 m 的雾，定义雾时数为小时最小能见度达到对应等级标准的累计小时数(单位为 h)，将连续数小时出现达到相应等级标准的低能见度现象作为一次雾天气过程，剔除因霾造成的低能见度。

3. 结果与分析

3.1. 雾的时间变化特征

3.1.1. 月季变化特征

统计 2016 年至 2025 年乌苏市雾的年际变化特征(图略)发现，近 10 年雾的出现时数波动剧烈，2016 和 2023 年是雾天高发期，出现雾时数分别 312 小时和 315 小时；2018 年则是雾天最少的年份，全年出现雾时数为 32 小时。2023 年后雾日数有所减少，整体呈现先降后升再降的变化规律。雾出现最早时间为 10 月中旬，最晚时间为 4 月下旬。

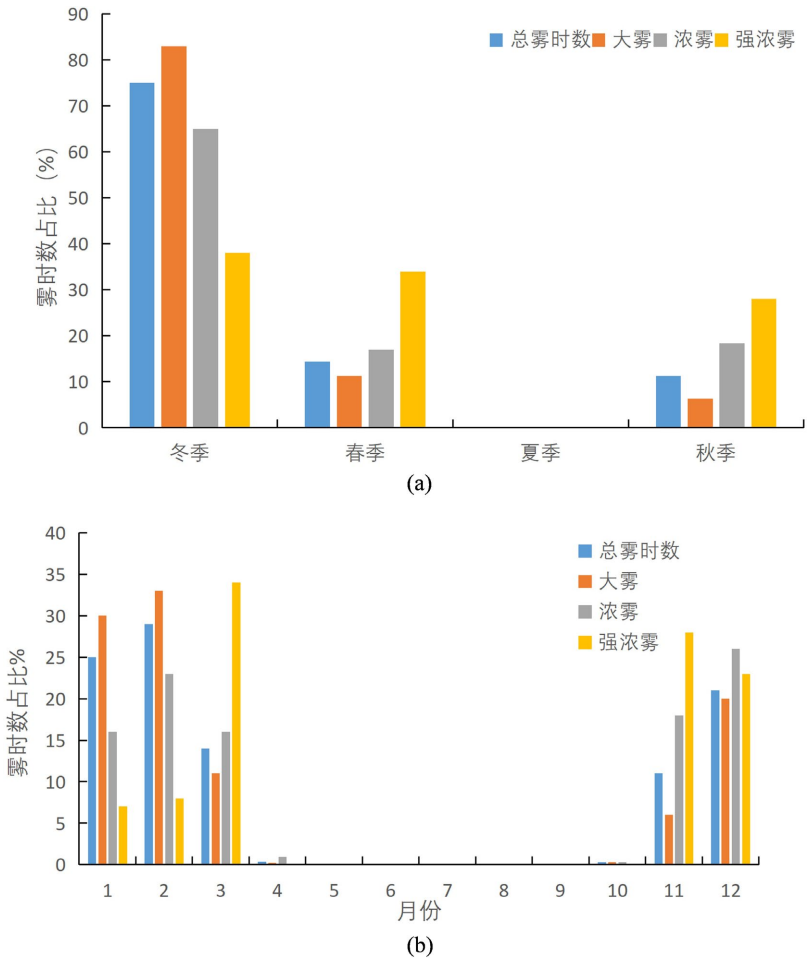


Figure 1. Monthly distribution characteristics of the proportion of fog hours at various levels to the total hours of the corresponding level from 2016 to 2025

图 1. 2016~2025 年各级别雾时数占相应级别总时数比例的月季分布特征

图 1 为乌苏市各级别雾时数月季分布图，由图 1(a)可以看出，2016~2025 年，雾在 10 月至次年 4 月均有出现，而 10 月和 4 月鲜少出现，5 至 9 月未出现。其中大雾和浓雾在 10 月至次年 4 月均出现，而强浓雾在 10 月和 4 月未出现过。2 月总雾时数和大雾占比最高，12 月浓雾占比最高，而 3 月强浓雾占比最高。由图 1(b)可以看出，季节差异显著，冬季雾最频繁、强度最高，夏季完全无雾，春秋为过渡阶段。大雾、浓雾、强浓雾在冬季的占比均高于其他季节，雾从 11 月开始显著增多，12~2 月达到峰值，3 月仍维持较高水平，4 月后快速消退，5~9 月完全消失。因此冬季(12~2 月)、3 月及 11 月需重点防范大雾、强浓雾对公路、航空的能见度影响，提前发布预警。归其原因为乌苏地处西北内陆，冬季逆温层稳定、近地面湿度大，是雾(尤其是强浓雾)高发的主要气象原因；夏季气温高，对流旺盛，难以形成稳定雾层[10]。

3.1.2. 日变化特征

从乌苏市不同强度雾的日变化特征曲线来看(图 2)，各级别雾的日变化规律呈现出显著的分异特征：大雾出现频次与总雾时数的日变化趋势高度一致，整体呈典型的双峰型分布。主峰值出现在 11 时，对应 09~12 时为高频时段；次峰值出现在夜间 23 时，对应 21 时至次日 02 时为次高频时段。这一分布特征，反映了夜间辐射冷却效应与上午边界层稳定度对雾的生消过程起到了主导作用。浓雾与强浓雾的日变化均呈单峰型分布，高发时段显著集中于上午：浓雾的多发时段为 06~13 时；强浓雾的高发时段为 05~11 时，峰值均出现在 10 时。该特征表明，高强度雾更易形成于夜间辐射冷却、清晨近地面边界层稳定度高的时段，随着上午气温升高、湍流混合增强，雾的浓度快速降低并逐渐消散。

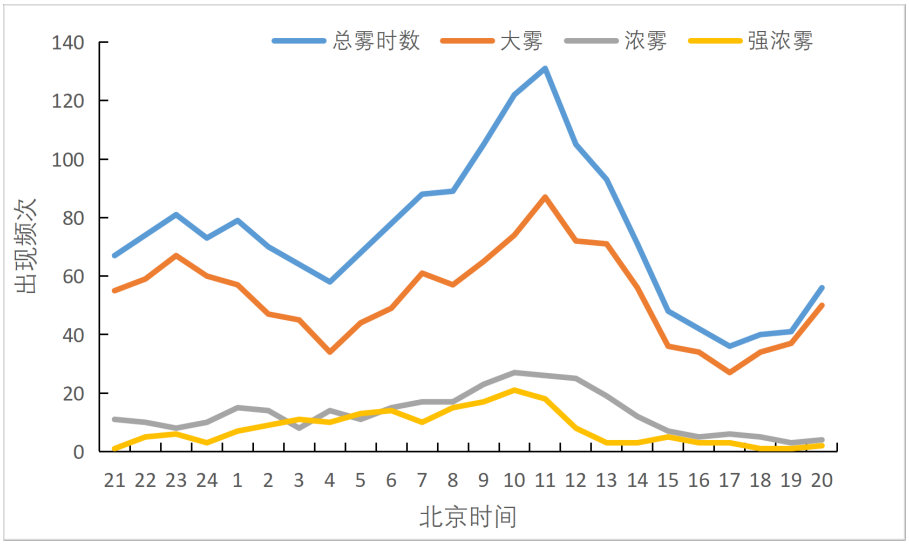


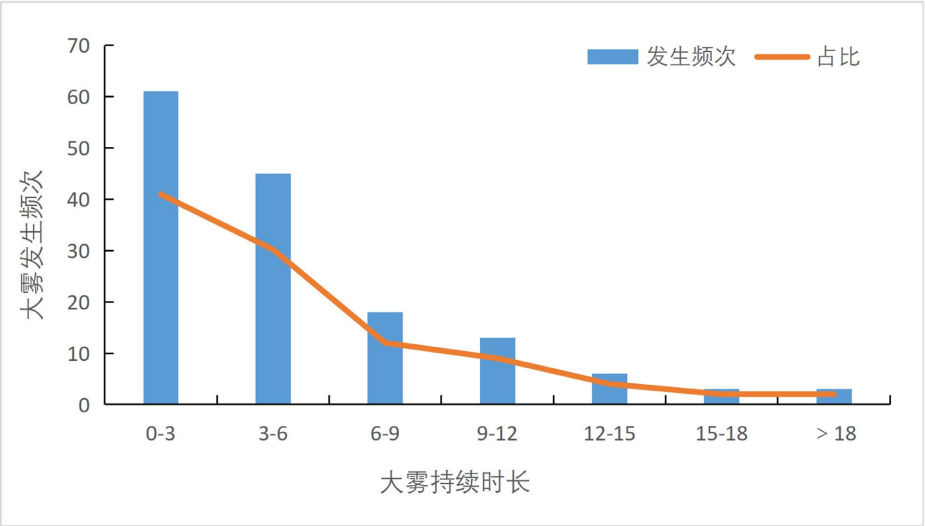
Figure 2. Diurnal variation characteristics of fog with different intensities from 2016 to 2025
图 2. 2016~2025 年不同强度雾的日变化特征

3.2. 雾的持续时间与生消分析

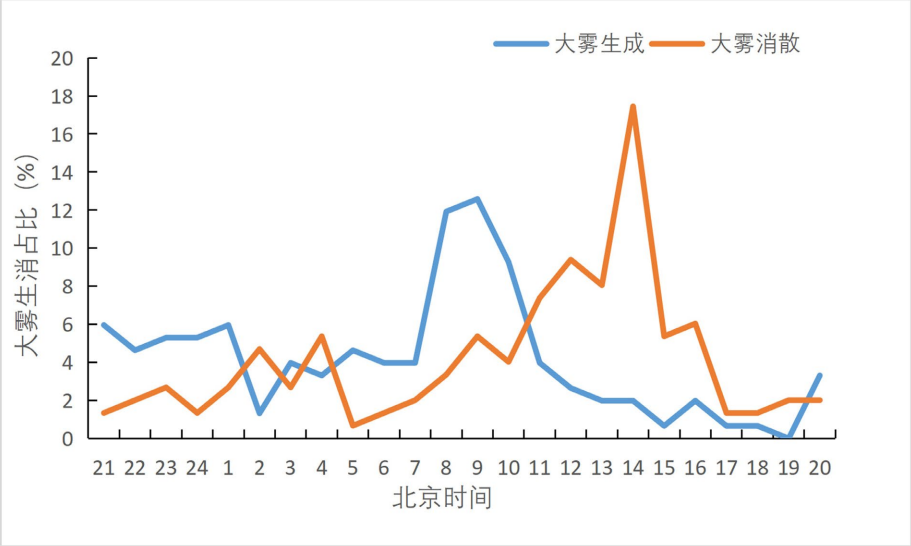
从乌苏市大雾生消占比日变化特征来看(图 3)，大雾生成呈“双峰一谷”日内分布形态。主峰值出现在清晨 08~10 时，占比 34%，在 09 时达到最大，次峰值出现在夜间 21 时至次日 01 时，占比 27%。低值区出现在 17~19 时，占比趋近于 0。分析原因主要为入夜后地面辐射降温，近地面水汽凝结，利于雾的初生，凌晨至清晨持续的辐射冷却促使近地面水汽持续饱和凝结，是峰值形成的核心原因。午后因太阳辐射，近地面气温偏高、大气湍流扰动强，水汽难以饱和凝结，大雾生成条件极差，夜间整体成雾条件优于午后，但冷却强度弱于清晨，生成占比偏低。大雾消散呈单峰型分布，消散峰值出现在 13~14 时，14 时消散占比

达到最大，为全天消散最强时段，日出后太阳短波辐射不断增强，地面与近地面空气升温，雾滴受热蒸发，正午时段热力条件最优，消散过程达到顶峰。大雾生成与大雾消散占比基本成负相关关系。

大雾持续时长分析：持续 0~3 h 大雾 61 次，占比 41%；3~6 h 大雾 45 次，占比 30%，6 小时以内短时大雾累计 106 次，占全部大雾过程 71%，是乌苏大雾最主流形态。此类大雾多为夜间地面辐射冷却形成的辐射雾，日出后地面升温、大气湍流增强，近地层逆温快速破坏，雾体短时间消散。6~9 h、9~12 h 大雾占比依次为 12%、9%；持续 12h 以上长时效浓雾共 12 次(12~15 h 6 次、15~18 h 3 次、>18 h 3 次)，三类合计占比仅 8%。整体规律为大雾维持时间越久，出现概率越低，超长持续性浓雾发生概率极低。长时效浓雾致灾风险更高，持续 12 h 以上浓雾占比虽小，但能见度长时间偏低，易持续影响道路交通、航空运输与户外生产作业，是气象防灾预警重点关注对象。



(a)



(b)

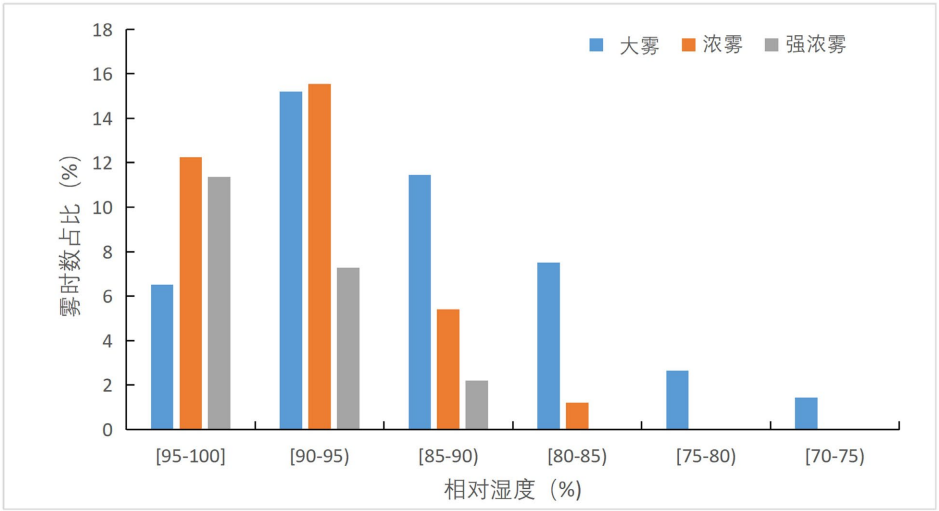
Figure 3. Daily variation characteristics of the occurrence and disappearance proportion of heavy fog from 2016 to 2025 (a) and analysis of the duration of heavy fog (b)

图 3. 2016~2025 年大雾生消出现占比日变化特征(a)及大雾持续时长分析(b)

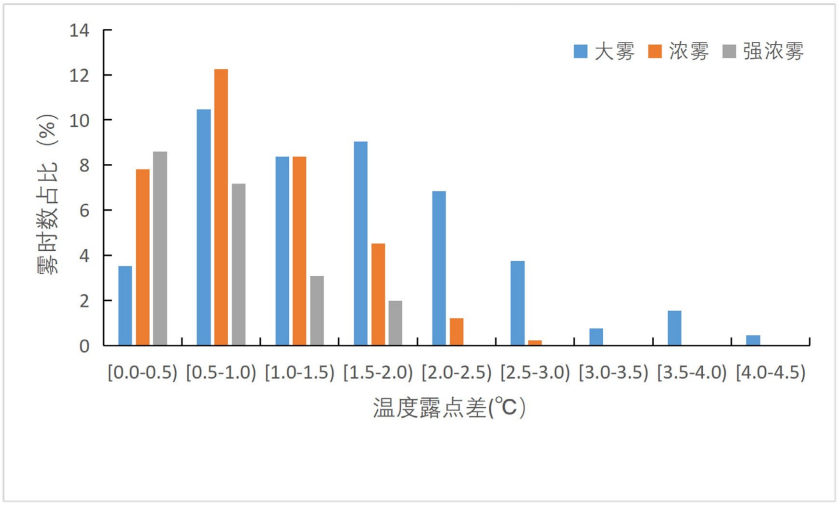
3.3. 大雾地面气象条件分析

3.3.1. 相对湿度与温度露点差

相对湿度和温度露点差都表征了近地层大气的饱和程度，从图 4(a)可以看出：近 10a 乌苏大雾、浓雾及强浓雾主要集中出现在相对湿度 85%~100%区间，总占比 86%，其中大雾、浓雾均占 33%，强浓雾占 20%，大雾在相对湿度 70%以上均有发生，浓雾在相对湿度低于 80%，强浓雾在相对湿度低于 85%的条件下占比趋近于 0，几乎无发生的可能。



(a)



(b)

Figure 4. Analysis of fog of different intensities, relative humidity, and temperature dew point difference from 2016 to 2025
图 4. 2016 年至 2025 年不同强度雾与相对湿度(a)和温度露点差(b)分析

从图 4(b)可以看出：大雾、浓雾及强浓雾的分布特征与温度露点差呈现一定的负相关关系。雾时数占比整体随温度露点差的增大而递减，其中[0.5~1.0℃]区间为各级别雾的集中高发区，总占比 30%。在温度露点差小于 2.0℃的区间内雾总占比 86%，大雾、浓雾及强浓雾的发生时数占比分别为 31%、33%、22%，表明近饱和的水汽条件是雾形成的关键前提。随着温度露点差的升高，雾时数占比快速下降，浓雾与强浓

雾在温度露点差超过 2.0℃后基本消失，仅少量大雾仍有发生；当温度露点差超过 3.0℃时，雾的发生占比已降至极低水平。这一分布特征表明，温度露点差越小，近地面空气越接近饱和状态，越有利于雾的形成，且雾的强度与温度露点差呈明显反向关联，可为乌苏市雾的分级预报及低能见度预警提供重要参考依据。

3.3.2. 温度

图 5 为日最高、最低气温温差分级下大雾、浓雾、强浓雾的出现频次占比分布，从图中分布特征可知，各级雾事件的占比高值集中于 2~8℃日温差区间内，其中(2~4]℃区间强浓雾占比达到全序列峰值，浓雾、大雾占比同步处于高位，表明 2~4℃昼夜温差环境最利于高强度雾的生成与维持；(4~6℃]区间三类雾占比小幅回落但仍维持较高水平，是雾发生的次优势温差区间。当日温差超过 6℃后，浓雾与强浓雾占比持续走低，大雾占比相对凸显，反映昼夜温差扩大时，近地面降温幅度有限、水汽凝结条件变差，雾的强度随之降低；昼夜温差(0~2]℃区间各类雾占比整体偏低，该温差环境下垂直混合与冷却条件不足，雾发生概率较小；当日温差大于 10℃时，各级雾总占比呈断崖式衰减，12~14℃区间仅存在极少量浓雾，大雾与强浓雾基本无分布，说明 10℃可作为本地雾生消的关键临界昼夜温差阈值。整体规律表现为昼夜温差越小，高强度浓雾、强浓雾的出现占比越高，温差持续增大则雾发生占比同步下降、雾强度减弱，该分布特征揭示了小幅昼夜温差带来的稳定冷却、弱湍流环境是乌苏雾形成的有利条件，可为乌苏雾天气预报预警提供量化参考依据。

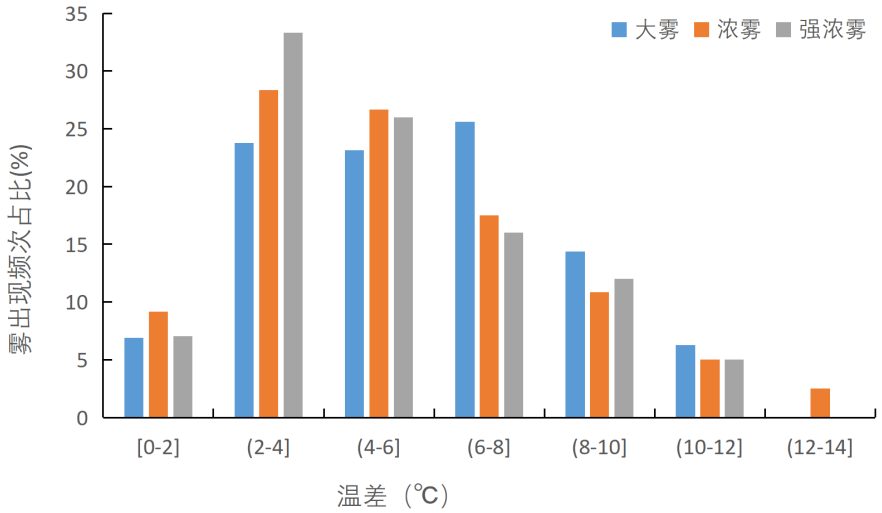
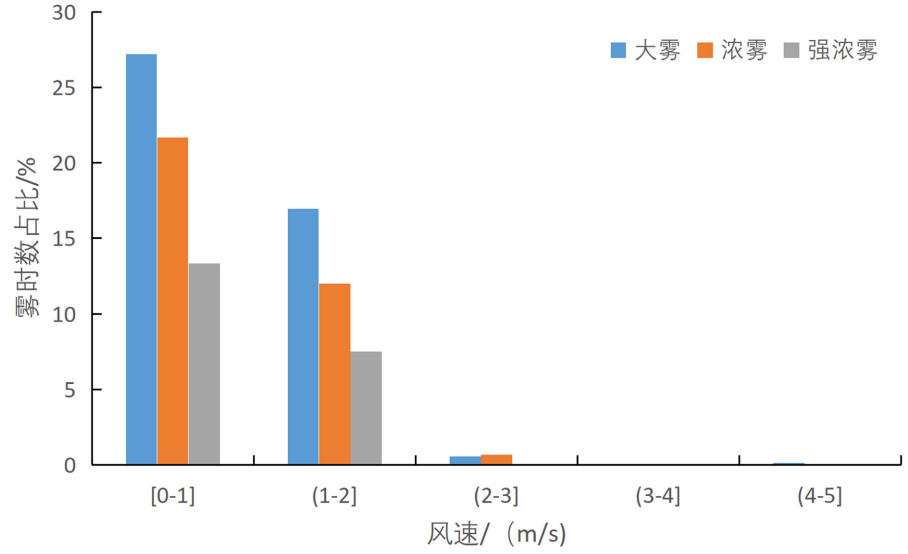


Figure 5. Analysis of fog and temperature difference with different intensities from 2016 to 2025
图 5. 2016 年至 2025 年不同强度雾与温差分析

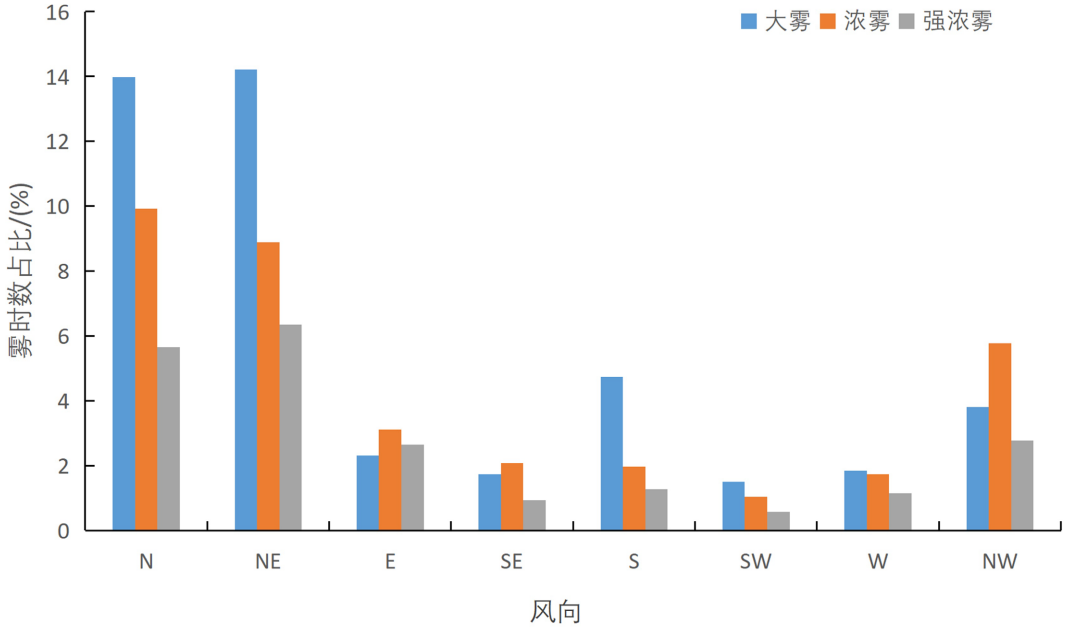
3.3.3. 风速与风向

图 6(a)为不同风速区间内，大雾、浓雾、强浓雾的雾时数占比，统计结果表明，乌苏市大雾、浓雾、强浓雾均集中出现在 0~2 m/s 的弱风速环境中，其中 0~1 m/s 风速区间大雾占比 27%，浓雾占比 22%，强浓雾占比 13%，各类雾的发生占比达到峰值；随着风速升高，雾的出现频次显著降低，风速大于 2 m/s 时雾时数占比大幅锐减，风速 ≥3 m/s 后浓雾、强浓雾鲜少出现，占比趋近于 0。

统计表明图 6(b)，乌苏地区大雾、浓雾、强浓雾在 8 个方位风向上分布差异显著，北风、东北风为雾天气主导风向，三类雾的雾时占比均为全风向最高；西北风次之，东南风、西风、西南风雾发生频次整体偏低，其中西南风雾时占比最小。各类强度雾均呈现大雾占比最高、浓雾次之、强浓雾最低的特征，强浓雾仅在偏北风向(N、NE、NW)出现较多，偏南、偏东风向极少出现强浓雾。



(a)



(b)

Figure 6. Analysis of fog with different intensities and wind speed (a) and wind direction (b) from 2016 to 2025
图 6. 2016 年至 2025 年不同强度雾与风速(a)风向(b)分析

4. 结论与讨论

本文利用乌苏国家基准气候站 2016~2025 年逐时观测资料，分析乌苏市雾的变化特征及雾发生时地面气象要素变化规律，主要分析结论如下：

1) 近 10 年乌苏市雾的出现时数波动剧烈，2016 和 2023 年是雾天高发期，出现雾时数分别为 312 小时和 315 小时，整体呈现先降后升再降的变化规律。雾出现最早时间为 10 月中旬，最晚时间为 4 月下旬。

2) 近 10 年大雾和浓雾在 10 月至次年 4 月均出现，而强浓雾在 10 月和 4 月未出现过。2 月总雾时数和大雾占比最高，12 月浓雾占比最高，而 3 月强浓雾占比最高。季节差异显著，冬季雾最频繁、强度最高，夏季完全无雾，春秋为过渡阶段。

3) 大雾出现频次与总雾时数的日变化趋势高度一致，整体呈典型的双峰型分布。主峰值出现在 11 时，对应 09~12 时为高频时段；次峰值出现在夜间 23 时，对应 21 时至次日 02 时为次高频时段。

4) 大雾生成呈“双峰一谷”日内分布形态。主峰值出现在清晨 08~10 时，占比 34%，在 09 时达到最大，次峰值出现在夜间 21 时至次日 01 时，占比 27%。低值区出现在 17~19 时，占比趋近于 0。持续 0~3 h 大雾占比 41%，3~6 h 占比 30%，6 小时以内占全部大雾过程 71%，是乌苏大雾最主流形态。

5) 近 10a 乌苏大雾、浓雾及强浓雾主要集中出现在相对湿度 85%~100%区间，总占比 86%，整体而言，雾的强度与相对湿度呈明显正相关，湿度越高，高等级雾(浓雾、强浓雾)的发生概率越大，表明充足的水汽条件是形成高强度雾的必要前提。

6) 各级雾事件的占比高值集中于 2~8℃日温差区间内，其中(2~4]℃区间强浓雾占比达到全序列峰值，浓雾、大雾占比同步处于高位，当日温差大于 10℃时，各级雾总占比呈断崖式衰减，12~14℃区间仅存在极少量浓雾，大雾与强浓雾基本无分布。

7) 大雾、浓雾、强浓雾均集中出现在 0~2 m/s 的弱风速环境中，其中 0~1 m/s 风速区间大雾占比 27%，浓雾占比 22%，强浓雾占比 13%，各类雾的发生占比达到峰值，究其原因，静小风条件有利于近地面逆温层维持，水汽持续凝结形成雾；大风易引发空气湍流，打破稳定层结，促使雾滴扩散消散。在气象预警服务中，可将地面风速 ≤ 2 m/s 作为雾天气重点研判指标，风力增大至 3 m/s 以上时可预判雾趋于消散。

8) 大雾、浓雾、强浓雾在 8 个方位风向上分布差异显著，北风、东北风为雾天气主导风向。结合地形条件分析，偏北气流易在本地形成近地面稳定逆温层，为雾的生成和维持提供有利环境。在气象预报服务中，可将东北风、北风、西北风作为雾天气重点研判风向，结合弱风速条件开展递进式预警服务。

参考文献

[1] 窦刚, 陈春艳. 天山北坡一次大雾天气的数值模拟分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2023, 17(3): 26-34.

[2] 高茜, 何晖, 马新成, 等. 一次大雾形成过程的数值模拟分析[J]. 气候与环境研究, 2012, 17(6): 821-832.

[3] 张亚莉, 王清平, 万瑜, 等. 乌鲁木齐机场 2021 年首场强浓雾特征及成因分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2024, 18(4): 83-90.

[4] 艾冠男, 潘新民, 张新军. 新疆主要高速公路气象灾害特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2023, 17(5): 141-145.

[5] 刘艳, 何清, 戴晓爱, 等. 新疆铁路沿线主要气象灾害风险区划及减灾对策探讨[J]. 自然灾害学报, 2016, 25(3): 48-57.

[6] 苟杨, 廖波, 彭科曼, 等. 黔南两次大范围爆发性增强的辐射雾对比分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2026, 20(1): 147-155.

[7] 王清平, 张亚莉, 万瑜, 等. 基于多源数据的北疆一次持续性浓雾天气过程的演变特征. 沙漠与绿洲气象, 2024, 18(2): 83-91.

[8] 许敏, 李江波, 田晓飞, 等. 京津冀地区辐射雾生消影响因子和污染物特征分析[J]. 气象与环境学报, 2023, 39(3): 56-64.

[9] 中国气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京: 气象出版社, 2017.

[10] 魏文寿, 刘明哲. 新疆气候与环境演变[M]. 北京: 科学出版社, 2019.