

Study on the Characteristics of Air Humidity and Its Effects on Air Quality in Chengdu

Yaling Chen, Chao Wang*, Yanyan Zhou, Siqi Liu, Tiangui Xiao, Xiaohang Wen

Plateau Atmosphere and Environment Key Laboratory of Sichuan Province, College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan
Email: *tony45@foxmail.com

Received: Jul. 31st, 2020; accepted: Aug. 20th, 2020; published: Aug. 27th, 2020

Abstract

In order to study the characteristics of air relative humidity, absolute humidity and its effects on air quality in Chengdu, based on the ground observation data of relative humidity and temperature of Wenjiang station in Chengdu in 2014 and the mass concentration of PM₁₀ and PM_{2.5} two kinds of particulate matter, the characteristics of air humidity and particulate matter concentration in Chengdu under different time scales were analyzed and studied, the effect of humidity on the concentration of particulate matter was discussed, and the results show that: The air humidity in Chengdu is relatively high, the relative humidity is mainly concentrated in 90% - 100%, and its standard deviation is 16.3%, with a large range of change, while the absolute humidity is mainly concentrated in 5 - 10 g/m³, the standard deviation is 5.07 g/m³, there are some differences in the evolution characteristics of the two kinds of humidity parameters under different time scales. By using the typical high and low PM_{2.5} events in winter, the effect of the two kinds of humidity on air quality is not consistent. When precipitation occurs during the rainy season, the greater the relative and absolute humidity is, the smaller the particle concentration will be; in the winter with less precipitation, the greater the relative and absolute humidity is, the more favorable the moisture absorption growth of particulate matter is, and the worse the air quality is. The numerical weather forecast with higher spatial and temporal resolution in recent years, combined with the characteristics of local air humidity in different seasons, can be used as a reference for the forecast of air pollution potential.

Keywords

Relative Humidity, Absolute Humidity, Particle Mass Concentration, Forecast of Pollution Potential

成都地区空气湿度演变规律及其对空气质量的影响研究

陈亚玲, 王超*, 周艳艳, 刘思祺, 肖天贵, 文小航

*通讯作者。

成都信息工程大学大气科学学院, 高原大气与环境四川省重点实验室, 四川 成都
Email: *tony45@foxmail.com

收稿日期: 2020年7月31日; 录用日期: 2020年8月20日; 发布日期: 2020年8月27日

摘要

为研究成都地区空气湿度的演变特征及对空气质量的影响情况, 本文利用2014年成都地区温江站湿度、温度和PM₁₀、PM_{2.5}质量浓度的地面观测资料, 分析研究了成都地区空气湿度和颗粒物浓度的不同时间尺度下的演变规律, 并讨论了湿度对颗粒物浓度的影响作用, 结果表明: 成都地区总体上空气湿度较大, 相对湿度主要集中于90%~100%, 其标准差为16.3%; 绝对湿度主要集中于5~10 g/m³, 其标准差为5.07 g/m³, 两类湿度参数在不同时间尺度的演变特征存在一定差异; 利用冬季典型高、低PM_{2.5}事件, 分别对两类湿度进行分析, 两类湿度对空气质量的影响并不一致, 在雨季发生降水时, 相对、绝对湿度越大, 这时颗粒物浓度越小; 而在降水偏少的冬季, 相对、绝对湿度越大, 越有利于颗粒物的吸湿增长, 对空气质量反而不利。利用近年来更高时空分辨率的数值天气预报, 结合本地不同季节空气湿度的特征, 可作为空气污染潜势预报的参考依据。

关键词

相对湿度, 绝对湿度, 颗粒物浓度, 污染潜势预报

Copyright © 2020 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

空气湿度是影响空气质量的重要气象要素, 相对湿度的阈值可以作为区分轻雾与霾的辅助判据, 相对湿度较高时, 在量级上其对气溶胶的群体光学特性参数以及太阳增温率所产生的影响相当于溶胶粒子浓度成倍变化的影响[1][2]。但是相对湿度并不一定能够十分准确的反映出空气中水汽的多少, 而绝对湿度是指在一定温度和气压的条件下, 单位体积的空气中所含水蒸汽的份量, 也就是空气中的水汽密度, 其变化范围不大, 比较稳定, 能够更好的反映空气中水汽质量的多少[3]。空气质量的好坏与大气中颗粒物的浓度密切相关, 而空气湿度是影响颗粒物质量浓度变化的主要气象因子[4]。颗粒物拥有吸湿特性, 因此随着相对湿度增加, 空气中的PM_{2.5}和PM₁₀的质量浓度也逐渐增加, 其产生的消光效应也不断加剧, 从而加重空气细颗粒物污染[5][6]。

近些年来, 许多国内外学者对于不同地区空气湿度和不同类型颗粒物间的相关特征进行了分析研究, 国外的学者主要是在全球变暖的气候条件下研究相对湿度的动态变化[7][8][9][10], 国内的学者对于空气相对湿度的研究较为广泛[11]-[18], 但是相对湿度受到温度影响较为显著, 因此本文对两类湿度参数进行了对比分析, 利用2014年成都地区逐时空气湿度观测以及颗粒物浓度数据, 探究空气湿度对颗粒物的影响情况, 将有利于加深对该地区灰霾天气过程的认识, 从而提高成都地区空气质量预报的水平。

2. 空气湿度演变特征

2.1. 空气湿度的总体分布特征

图 1 为空气湿度的总体分布特征图, 图 1(a)为相对湿度的总体分布图, 从图中可以看出成都地区空气的相对湿度总体主要分布在 90%~100%, 这表明成都地区相对湿度大, 空气接近饱和; 图 1(b)为绝对湿度的总体分布图, 可以看出, 绝对湿度总体分布较分散, 主要集中在 5 g/m³ 到 10 g/m³, 其标准差为 5.07 g/m³, 表明绝对湿度的变化幅度较小, 分布均匀, 比较稳定。

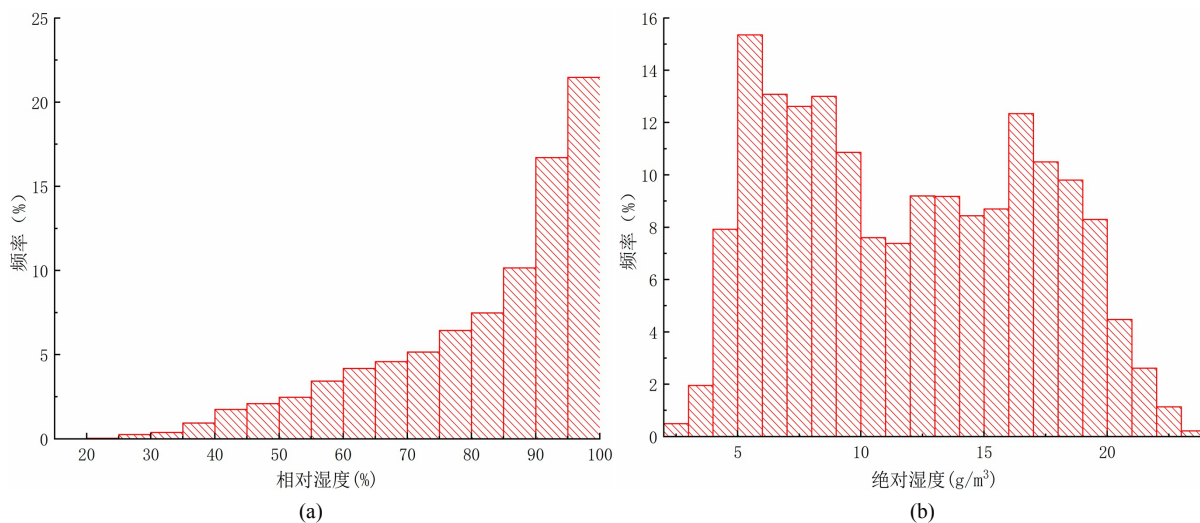


Figure 1. General distribution characteristics of air relative humidity (a), absolute humidity (b)

图 1. 空气相对湿度(a)、绝对湿度(b)的总体分布特征图

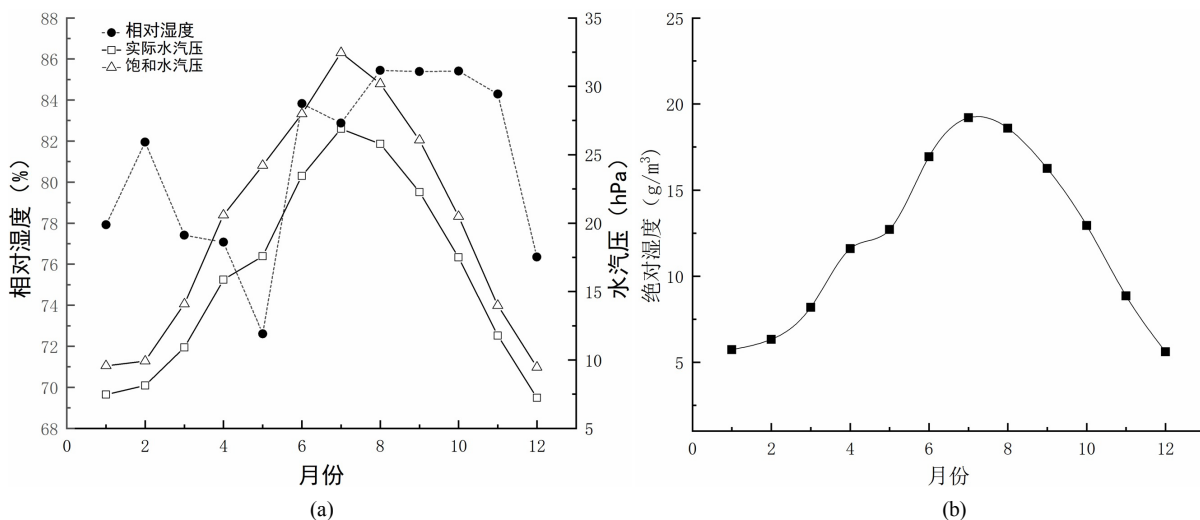


Figure 2. Characteristics of annual variation of air relative humidity (a), absolute humidity (b)

图 2. 空气相对湿度(a)、绝对湿度(b)的年变化特征图

2.2. 空气湿度的年、季节变化特征

图 2 为空气湿度的年变化特征图, 图 2(a)为相对湿度、实际水汽压以及饱和水汽压的年变化特征图。空气相对湿度是指湿空气中实际水汽压与同温度和气压下饱和水汽压之比, 相对湿度在 6~11 月较大, 最大

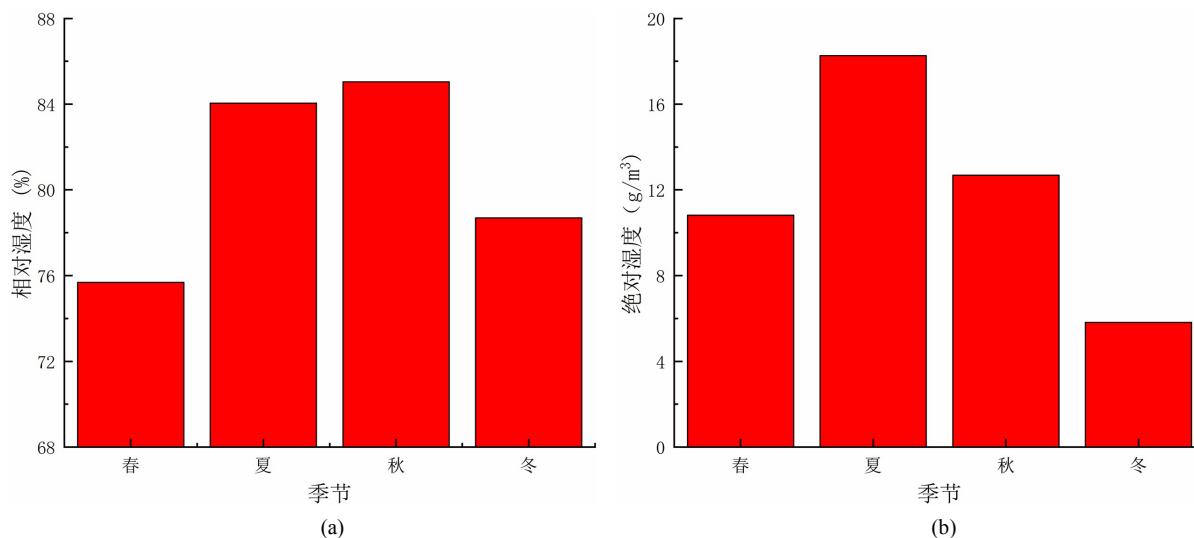


Figure 3. Characteristics of seasonal variation of air relative humidity (a), absolute humidity (b)
图 3. 空气相对湿度(a)、绝对湿度(b)的季节变化特征图

值出现在 8 月, 实际水汽压和饱和水汽压的变化趋势大致相同, 均呈现倒“U”型分布, 这主要是由于成都地区夏季为雨季, 大量降水使得空气中实际水汽压增加; 图 2(b)为绝对湿度的年变化特征图, 由图可知, 绝对湿度整体呈现倒“U”型分布, 1 月至 7 月绝对湿度呈上升趋势, 在 7 月达到最大值, 8 月至 12 月呈现下降趋势, 在 12 月达到最小值。6~9 月绝对湿度数值较大, 表明夏季空气中水汽密度较高, 空气潮湿。

图 3 为空气湿度的季节变化特征, 图 3(a)~(b)分别为相对、绝对湿度的季节变化图, 由图可知, 不同季节的相对湿度存在差异, 但主要集中在 75%~85%之间, 相对湿度随季节先增大后减小, 在秋季达到最大值, 这是由于成都秋季的温度相较于夏季有了明显的下降, 作为分母的饱和水汽压下降, 加之华西秋雨的影响, 使得相对湿度在秋季偏大; 绝对湿度随季节有显著变化, 夏季绝对湿度最大, 冬季绝对湿度最小。

2.3. 空气湿度的日变化特征

图 4 为空气湿度的日变化特征图, 图 4(a)为相对湿度、实际水汽压和饱和水汽压的日变化图, 不同季节相对湿度的日变化幅度存在一定差异, 其变化趋势大致呈余弦函数分布, 实际水汽压的日变化不明显, 而饱和水汽压由于受到温度日变化的影响, 呈显著的倒“U”型变化, 白天温度较高, 导致饱和水汽压较高, 夜间反之, 所以导致相对湿度也有显著的日变化的值。绝对湿度的日变化图 4(b)相对复杂, 在 9 时达到最大值, 为 12.30 g/m³, 在 16 时达到最小值, 为 11.26 g/m³, 但由于成都地区多夜雨, 因此绝对湿度仍具有白天较低, 夜晚较高的特征。

3. 空气湿度与颗粒物质量浓度的相关分析

3.1. 相对湿度与颗粒物的相关性分析

通过对 2014 年成都地区颗粒物质量浓度的统计分析, 参照《环境空气质量标准》(GB3095-2012)评价, 2014 年成都市 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 两类颗粒物浓度日均值分别为 122.53 μg/m³ 和 76.50 μg/m³, 超过二级标准, 可见该年成都地区颗粒物浓度较高, 污染情况比较严重。讨论中, 将相对湿度按 10%为刻度区间进行划分。图 5(a)~(b)分别为 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 质量浓度在不同相对湿度区间的分布图, 可见当相对湿度小于 90%时, 随着相对湿度的增大, PM₁₀ 和 PM_{2.5} 的质量浓度也随之增加, 而当相对湿度超过 90%时, PM₁₀

和 $PM_{2.5}$ 的质量浓度略微减小, 这可能是因为发生降水现象时, 相对湿度接近饱和, 导致湿沉降作用十分显著, 从而空气中颗粒物浓度有所降低。

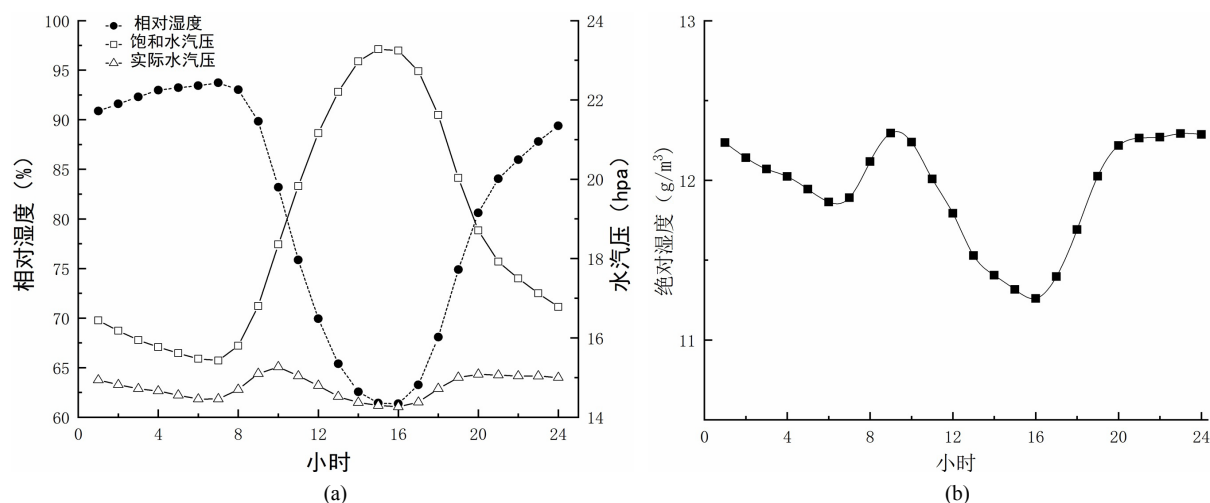


Figure 4. Diurnal variations of air relative humidity (a), absolute humidity (b)

图 4. 空气相对湿度(a)、绝对湿度(b)的日变化特征图

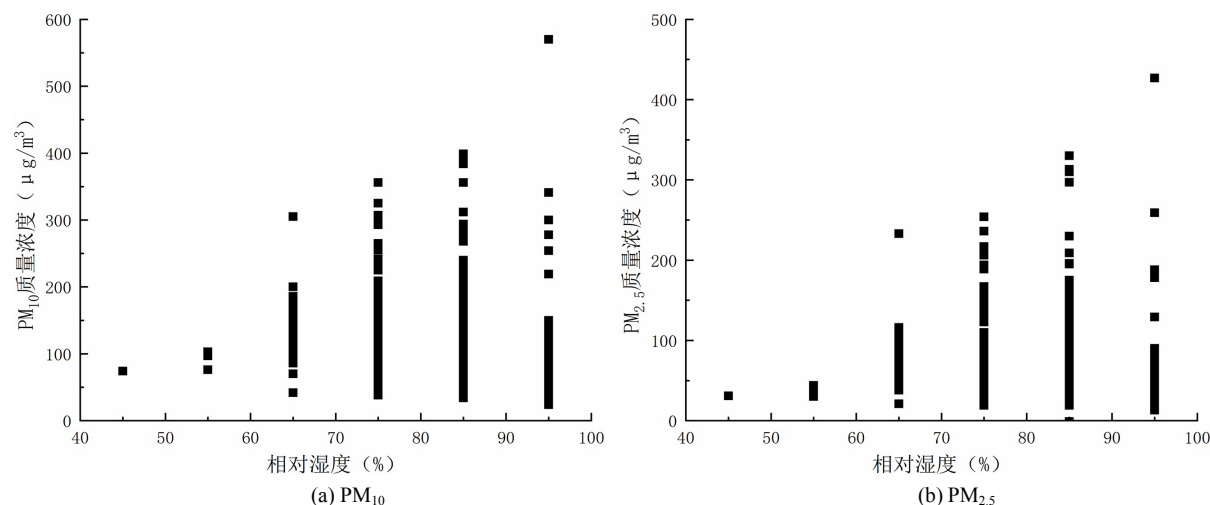


Figure 5. Distribution of particulate matter in different relative humidity intervals

图 5. 不同相对湿度区间颗粒物分布图

3.2. 绝对湿度与颗粒物的相关性分析

同样的将绝对湿度按间隔 3 g/m^3 划分为一个区间, 图 6(a)~(b)分别为 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 质量浓度在不同绝对湿度区间的分布图, 由图可知, 绝对湿度主要集中在区间 $5\sim 8 \text{ g/m}^3$, 随着绝对湿度的增加, 两类颗粒物的质量浓度均呈现降低, 这主要是因为成都地区全年空气湿润, 绝对湿度在夏季最大, 降水频发, 湿沉降现象比较显著, 导致空气中颗粒物浓度减小。

4. 冬季高低污染事件下空气湿度变化特征分析

$PM_{2.5}$ 对冬季成都地区空气污染的影响较大, 且通常是成都市空气污染的首要污染物, 因此下文研究空气湿度与 $PM_{2.5}$ 的影响作用。通过对成都地区 2014 年冬季 $PM_{2.5}$ 质量浓度的统计分析, 按照分位数进

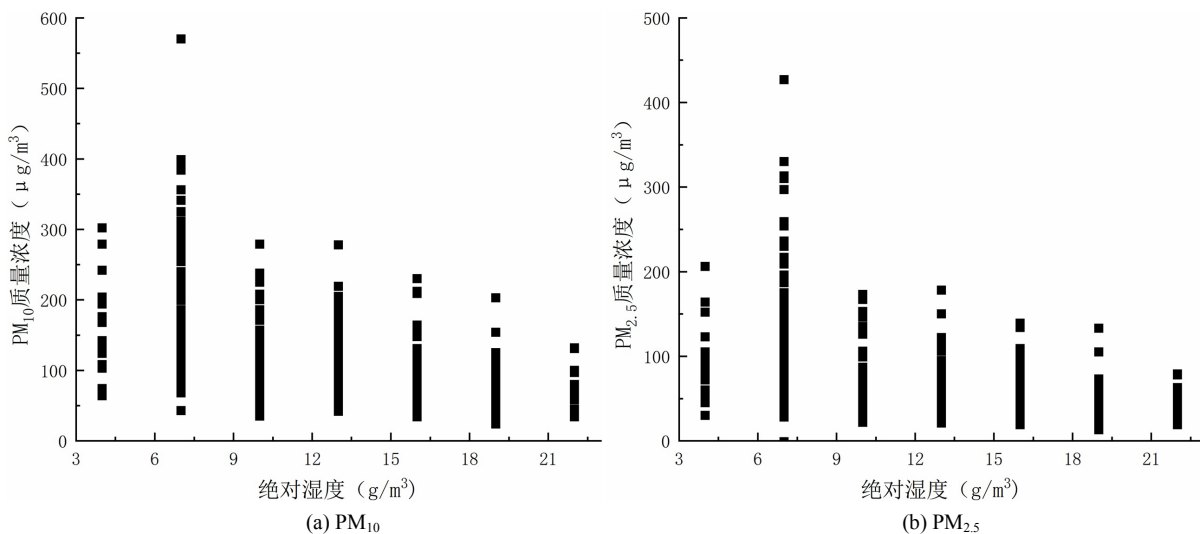


Figure 6. Distribution of particulate matter in different absolute humidity intervals
图 6. 不同绝对湿度区间颗粒物分布图

行筛选，选取冬季样本数据中分位数大于 75% 的 PM_{2.5} 数值，即当 PM_{2.5} 质量浓度大于 168 µg/m³ 时定义为高污染物事件；选取小于 25% 的 PM_{2.5} 数值，即当 PM_{2.5} 质量浓度小于 77 µg/m³ 时定义为低污染物事件。据统计，选取的高低污染日数共 22 天，其中高污染事件中平均 PM_{2.5} 浓度为 237.59 µg/m³，低污染事件中平均 PM_{2.5} 浓度为 52.71 µg/m³。

图 7 为冬季不同空气质量下大气湿度的平均日变化特征图，图 7(a)~(b) 分别为高、低 PM_{2.5} 下相对湿度、绝对湿度的平均日变化的对比图，从图(a)中可以看出，相对湿度在高、低 PM_{2.5} 下日变化趋势大体一致，均呈余弦函数分布，高污染事件下的相对湿度均大于低污染条件；从图(b)中可知，高、低污染绝对湿度在夜间大致相当，但在白天，高污染事件的绝对湿度明显大于低污染事件。在成都地区冬季，空气中水汽含量较少，降水发生的几率也较小，水汽对颗粒物具有一定的吸附作用，加强了颗粒物的二次生成，因此颗粒物浓度与空气湿度会呈现出随着空气湿度增加的情况，高相对、绝对湿度对空气质量有着的不利影响。

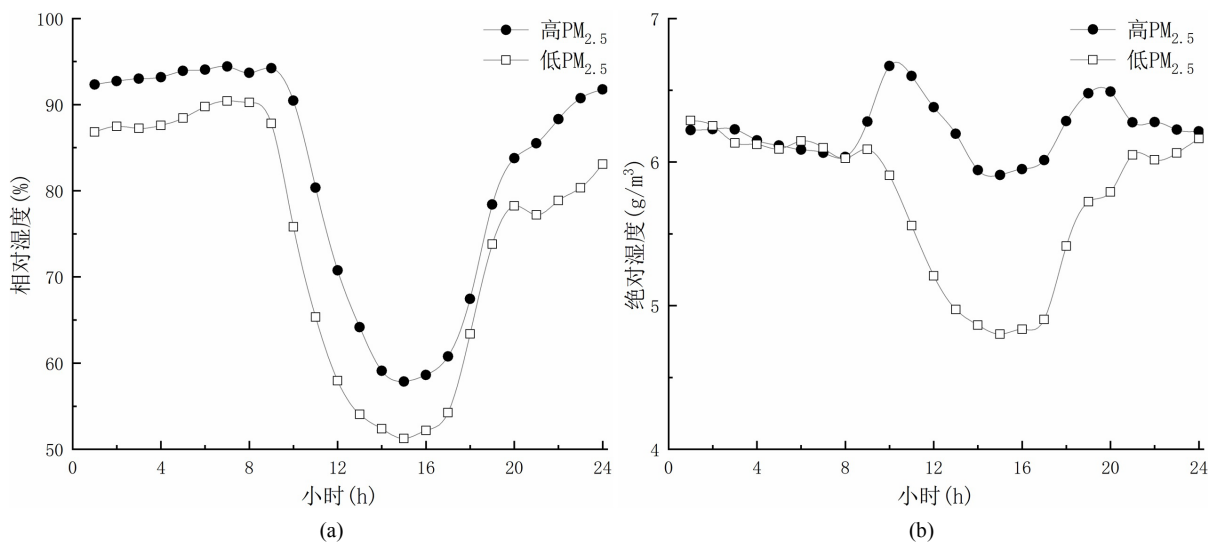


Figure 7. Characteristics of average daily variation of relative (a), absolute (b) humidity under different air quality in winter
图 7. 冬季不同空气质量下相对(a)、绝对(b)湿度平均日变化特征图

5. 结论

本文以成都地区为例, 利用 2014 年逐时的成都地区空气湿度资料以及逐日 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 的观测资料探究不同时间尺度空气湿度的演变特征, 分析了空气湿度对于两类颗粒物产生的影响, 通过综合探究后, 主要得出以下结论:

1) 成都地区空气相对湿度主要集中于 90%~100%, 其平均值达到了 81%, 夏、秋季较大, 冬季次之, 春季最小, 而日变化趋势大致呈余弦函数分布; 绝对湿度大部分集中在 5~10 g/m^3 , 其平均值为 11.94 g/m^3 , 绝对湿度的年变化呈倒“U”型分布, 夏季绝对湿度最大, 秋、春季次之, 而冬季最小, 两类湿度均有显著的日变化特征。

2) 通过散点图和冬季典型高、低污染事件对比分析中发现, 一年中, 空气湿度对空气质量的影响并不是一致的, 在成都的雨季, 高相对、绝对湿度往往出现在降水时期, 此时大气湿沉降作用显著, 空气质量较好; 但在冬季, 成都地区不容发生降水, 大气中的水汽含量增加, 反而促进了颗粒物的吸湿增长, 出现颗粒物的质量浓度随着空气湿度增加而增大的情况, 使空气质量恶化。利用近年来更高时空分辨率的城市数值天气预报产品中对空气湿度的预报, 结合本地城市湿度特征, 将对污染潜势预报有一定的参考价值。

基金项目

四川省科技厅(2019YJ0360, 2018JY0011, 2018SZDZX0023), 国家科技支撑计划(2015BAC03B05), 灾害天气国家重点实验室(2019LASW-B02), 国家气象中心(YBGJXM(2020)04-01), 成都信息工程大学(BKJX 2019120)。

参考文献

- [1] 吴兑. 再论都市霾与雾的区别[J]. 气象, 2006, 32(4): 9-15.
- [2] 杨军, 李子华, 黄世鸿. 相对湿度对大气气溶胶粒子短波辐射特性的影响[J]. 大气科学, 1999, 23(2): 239-247.
- [3] 梁称福, 陈正法, 李文祥, 等. 广西贺州地区温室内空气湿度时空变化研究[J]. 中国农业气象, 2003, 24(4): 52-56.
- [4] 王翠连, 张军, 郑瑶, 等. 郑州城区 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 质量浓度变化特征及其对气象因子的响应[J]. 环境保护科学, 2019, 45(6): 76-83.
- [5] 刘凡, 谭钦文, 江霞, 等. 成都市冬季相对湿度对颗粒物浓度和大气能见度的影响[J]. 环境科学, 2018, 39(4): 1466-1472.
- [6] 杨茜, 高阳华, 李振亮. 重庆市霾天气下大气能见度与颗粒污染物的关系[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2019, 41(9): 134-140.
- [7] Ahmed, H.A., Tong, Y.-X., Yang, Q.-C., et al. (2019) Spatial Distribution of Air Temperature and Relative Humidity in the Greenhouse as Affected by External Shading in Arid Climates. *Journal of Integrative Agriculture*, **18**, 2869-2882.
- [8] Poppendieck, D., Gong, M.Y. and Pham, V. (2020) Influence of Temperature, Relative Humidity, and Water Saturation on Airborne Emissions from Cigarette Butts. *The Science of the Total Environment*, **712**, Article ID: 136422. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136422>
- [9] Kuang, W.H. (2020) Seasonal Variation in Air Temperature and Relative Humidity on Building Areas and in Green Spaces in Beijing, China. *Chinese Geographical Science*, **30**, 75-88. <https://doi.org/10.1007/s11769-020-1097-0>
- [10] Matxalen, E.M., Lauren, E.I. and de Diego Margarita, L.G. (2020) Daily Dataset on Temperature and Relative Humidity in Two Traditional Basque Architectural Models Located in Lea River Valley. *Data in Brief*, **28**, Article ID: 104940. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104940>
- [11] Liu, F., Tan, Q.W., Jiang, X., et al. (2019) Effects of Relative Humidity and $PM_{2.5}$ Chemical Compositions on Visibility Impairment in Chengdu, China. *Journal of Environmental Sciences*, **86**, 15-23. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2019.05.004>

- [12] 王超, 肖天贵, 罗琴, 等. 城市空气湿度变化特征及其对颗粒物浓度的影响[J]. 环境工程, 2018, 36(6): 116-121+127.
- [13] 王誉洁, 黄天丽, 孙丰宾, 等. 冬季居住区不同功能绿地 $PM_{2.5}$ 浓度变化及其与气象因子的关系[J]. 西北林学院学报, 2019, 34(4): 239-245.
- [14] 姚青, 蔡子颖, 韩素芹, 等. 天津冬季相对湿度对气溶胶浓度谱分布和大气能见度的影响[J]. 中国环境科学, 2014, 34(3): 596-603.
- [15] 丁一汇, 柳艳菊. 近 50 年我国雾和霾的长期变化特征及其与大气湿度的关系[J]. 中国科学: 地球科学, 2014, 44(1): 37-48.
- [16] 孟昭伟, 雷佩玉, 张同军, 等. 2015-2018 年西安市两城区 $PM_{2.5}$ 质量浓度变化特征及气象影响因素[J]. 卫生研究, 2020, 49(1): 75-79+85.
- [17] 张卓, 王维和, 王后茂, 等. 相对湿度对吸收性气溶胶指数的影响[J]. 遥感学报, 2019, 23(6): 1177-1185.
- [18] 魏春璇, 黄鹤, 翟振芳, 等. 合肥市霾日气象要素特征分析及预报方法研究[J]. 大气与环境光学学报, 2019, 14(6): 419-430.