

哈密市近10 a空气质量分析及预报模型研究

冯 瑶¹, 美合日阿依·牙里坤², 张 科², 阿尼尔·卡拉帕²

¹伊州区气象局, 新疆 哈密

²哈密市气象局, 新疆 哈密

收稿日期: 2022年7月13日; 录用日期: 2022年8月12日; 发布日期: 2022年8月19日

摘 要

利用2010~2019年哈密市气象及空气质量监测数据, 分析了哈密市空气质量状况及其与降水、能见度、平均气温、风速、日照时数等气象因子的相关关系, 采用多元逐步回归法建立四季空气质量指数预报模型并进行检验。结果表明: 哈密市空气质量以优良为主, 达标率为88.4%; 2011年空气质量最好, 污染日数最少, 2014年轻度及以上污染日数最多, 为空气质量最差年。近10 a春季空气质量最差, 夏季最好。在不同季节, AQI指数与降水、能见度、气温均呈负相关关系, 与风速、日照时数、气压呈正相关。建立了春、夏、秋、冬四季空气质量预报模型且均通过显著性检验; 经检验, 夏季模型预报效果最好, 秋、冬季次之, 春季较低, 预报准确率都超过70%, 可应用于哈密市空气质量预报业务。

关键词

空气质量指数特征, 气象因子, 相关关系, 预报模型, 检验

Study on Air Quality Analysis and Forecast Model of Hami City in Recent 10 Years

Yao Feng¹, Mekriay Yalkun², Ke Zhang², Anier Kalapa²

¹Yizhou District Meteorological Bureau, Hami Xinjiang

²Hami Meteorological Bureau, Hami Xinjiang

Received: Jul. 13th, 2022; accepted: Aug. 12th, 2022; published: Aug. 19th, 2022

Abstract

Using the meteorological and environmental data of Hami City from 2010 to 2019, the air quality status of Hami City and its correlation with meteorological factors such as precipitation, visibility, temperature, wind speed, and sunshine hours are analyzed. Using multiple stepwise regression

文章引用: 冯瑶, 美合日阿依·牙里坤, 张科, 阿尼尔·卡拉帕. 哈密市近 10 a 空气质量分析及预报模型研究[J]. 环境保护前沿, 2022, 12(4): 809-814. DOI: 10.12677/aep.2022.124101

method to establish and test the four season air quality prediction model. The results show that the air quality of Hami City was excellent, and the standard rate is 88.4%. Pollution days are the least in 2011, and the air quality was best. In 2014, the number of days of mild pollution and above was the most, and the air quality was worst. The air quality is the worst in Spring and the best in Summer in past 10 years. In different seasons, *AQI* index is negatively correlated with precipitation, visibility, and temperature, and positively correlated with wind speed, sunshine hours, and air pressure. The air quality forecast models in Spring, Summer, Autumn and Winter were established and passed the significance test. The results show that the Summer forecast model has the best forecast effect, followed by Autumn and Winter, and the Spring model has the lowest, forecast accuracy of more than 70%, which can be applied to the air quality forecast business in Hami City.

Keywords

Air Quality Index (*AQI*), Characteristics, Meteorological Factors, Correlativity, Forecast Model, Inspection

Copyright © 2022 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

哈密市位于新疆东部,地处天山山脉以南,植被稀疏,年降水量少,下垫面多以沙漠、戈壁、山脉为主,沙尘天气频发,属典型的干旱性大陆气候区。近年来,随着当地经济和城市建设的高速发展,汽车尾气排放的剧增,导致哈密市大气污染和空气质量问题呈逐年加重趋势,越来越受到人们的关注和重视,公众和环境管理部门对空气质量预报提出了更迫切的要求[1]。气象条件与大气污染之间存在密切的联系,气象因素是影响空气质量的重要因素之一。目前国内学者针对不同区域的空气质量和气象因子的相关性进行了大量研究和分析[2]-[11],也针对不同城市的空气质量建立预报系统和模型[12][13][14],取得良好效果。现有关于哈密市大气污染的研究仅限于污染物浓度及气象因素的分析[15][16],对空气质量的预报预测方面的研究很少。因此,研究分析气象因子与空气质量的相关关系,建立基于气象条件的空气质量预报预测模型,提高空气质量预报预警的准确性,为科学有效地控制和治理大气污染提供理论基础和数据支持,对改善哈密市空气质量具有极其重要的意义。

2. 资料来源与分析方法

文章环境资料来自哈密市环保局环境监测站 2010~2019 年逐日监测资料,根据空气质量标准(GB3095-2012) [17]用空气质量指数(*AQI*,下同)描述空气质量状况,空气质量指数 I、II、III、IV、V、VI 级分别对应优、良、轻度污染、中度污染、重度污染和严重污染 6 个级别,指数越大,级别越高,说明空气污染越严重,空气质量越差,对人体健康的影响也越明显[3]。气象资料选用哈密市国家基准气候站同期气温、降水、极大风速等 8 种常规观测数据。采用相关分析法和多元逐步线性回归法确定气象因子对 *AQI* 的影响及其之间的相关性,并建立哈密市空气质量预报模型,用卡方检验法对回归方程进行拟合优度检验。

3. 哈密市空气质量现状

由环境资料分析可知,哈密市近 10 a 首要污染物为 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$, 占有所有污染物的 93.4%, 其中 PM_{10} 占 88.5%, $PM_{2.5}$ 占 4.9%, 其它四种污染物占 6.6%。2017 年以后, NO_2 和 O_3 作为首要污染物的日数有所

增加,但空气质量仍处于 II 级(良),未超过国家标准,只具有警示作用。从空气质量各级别占比(图 1(a))可以看出:全市主要以 II 级(良)为主,占总数的 79.8%,I 级(优)占 8.6%,优良达标率 88.4%;级(轻度污染)及以上(中度、重度和严重污染)占总数的 11.6%。从各级别出现日数变化(图 1(b))上看:2014 年轻度、中度和重度污染日数明显增多,轻度污染占全年污染日数的 24.1%,严重污染(V 级)的日数 11 d,年平均 AQI 指数 91,为近 10 a 最差年;2011 年轻度污染及以上日数为 12 d,空气质量达 I 级(优)的日数为 21 d,年平均 AQI 指数 60,空气质量最好。

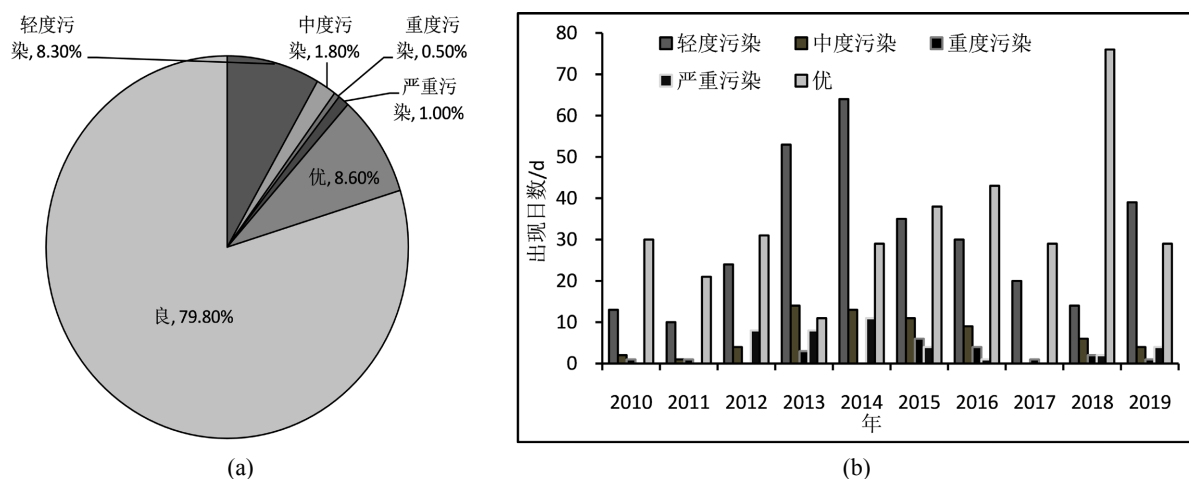


Figure 1. Proportion of all levels of air quality and distribution of occurrence days in each year in Hami City from 2010 to 2019
图 1. 哈密市 2010~2019 年空气质量各级别占比及每年出现日数分布

哈密市空气质量特征具有不同的季节变化特征,春季空气质量平均指数最高,其次是冬季、秋季、夏季空气质量最好。从 2010~2019 年逐年的季节变化来看(图 2),2014 年春季空气质量指数达到峰值,属轻度污染(III 级),是近 10 a 中空气质量最差的季节;2015 年夏季是近 10 a 最好的季节。轻度及以上污染天气集中在春季和冬季,平均每年 25 d 左右,出现频率为 60.5%,主要原因是哈密市冬季降水少,气候干冷严寒,长时间燃煤取暖,加上逆温层存在,污染物不易扩散;开春后供暖仍在继续,春季冷空气活动频繁,气温上升,风力加大,地表覆盖植被少,容易出现沙尘天气,使 AQI 指数增大,空气质量变差;夏季气温高,湍流旺盛,有利于空气污染物的扩散和稀释,降水偏多,沉降作用显著,使空气质量指数减小,空气质量变好。

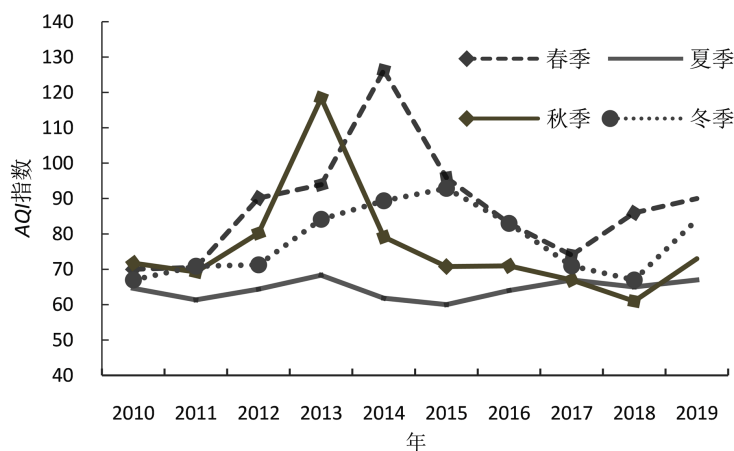


Figure 2. Seasonal variation characteristics of air quality index in Hami City from 2010 to 2019
图 2. 哈密市 2010~2019 年空气质量指数季节变化特征

4. 空气质量指数预报模型

4.1. 空气质量与气象因子的相关性分析

表 1 为 2010~2019 年哈密市 *AQI* 与气象要素之间的相关关系。可以看出：*AQI* 与气象因子降水量、气温、相对湿度、能见度和 *AQI* 指数呈负相关，且通过显著性检验；日照时数、气压、风速和极大风速与 *AQI* 指数呈正相关，日照时数、风速与极大风速均通过显著性检验，气压没有通过显著性检验。从季节相关性来看，降水、相对湿度和能见度都与 *AQI* 指数呈负相关，说明降水、相对湿度和能见度的增大能有效改善空气质量指数，使空气质量变好。不同季节影响空气质量指数的气象因子并不完全相同，其中其起主要作用的气象因子为降水、能见度、相对湿度、风速和极大风速。

Table 1. Correlation coefficient between air quality index and meteorological factors in Hami City

表 1. 哈密市空气质量指数与气象因子的相关系数

气象因子	降水/mm	气温/°C	相对湿度/%	日照时数/h	气压/hPa	风速/(m·s ⁻¹)	极大风速/(m·s ⁻¹)	能见度/km
总体	-0.298**	-0.141**	-0.109**	0.106**	0.099	0.145**	0.085**	-0.188**
春季	-0.319**	-0.134*	-0.073	0.142**	-0.089	0.248**	0.189**	-0.285**
夏季	-0.247*	0.030	-0.179**	-0.066	-0.039	0.135**	0.138**	-0.091*
秋季	-0.078*	-0.23**	-0.008	-0.199**	0.111**	0.054	0.015	-0.13**
冬季	-0.172**	0.145**	-0.082	0.066*	-0.115**	-0.138**	-0.011	-0.178**

注：*通过 0.05 显著性检验，**通过 0.01 显著性检验。

4.2. 空气质量指数预报模型

回归分析法可确定多个变量之间是否存在相关关系，还可以从变量中找出重要因子和次要因子。当变量之间不完全相互独立时，可采用逐步回归分析来进行重要因子的筛选和模型的建立，得到对因变量有显著影响的自变量所组成的最优的回归方程。根据 *AQI* 与气象因子的相关性，选取前一日 8 种气象因子作为自变量(x)，预测的 *AQI* 值作为因变量(y)进行逐步回归分析。

将气象因子降水(x_1)、平均气温(x_2)、相对湿度(x_3)、日照时数(x_4)、气压(x_5)、平均风速(x_6)、极大风速(x_7)、能见度(x_8)与 *AQI*(y)采用多元逐步回归法选取显著变量建立空气质量四季最优回归方程作为预报模型。建立的四季空气质量指数气象学预报模型分别为：

春季：

$$\hat{y} = 100.600 + 3.008x_6 - 0.502x_8 + 0.062x_4 + 2.173x_7 - 0.853x_2 - 0.601x_3 \quad (1)$$

夏季：

$$\hat{y} = 140.176 - 0.802x_3 - 1.169x_4 - 0.180x_8 - 1.017x_2 \quad (2)$$

秋季：

$$\hat{y} = 110.233 + 2.036x_6 - 0.794x_2 - 0.364x_3 - 0.298x_8 - 1.008x_4 \quad (3)$$

冬季：

$$\hat{y} = 119.539 - 0.286x_8 - 12.930x_6 + 0.559x_2 - 0.192x_3 \quad (4)$$

经检验，建立的四季空气质量预报模型均通过显著性水平 0.01 的 F 检验。冬季的回归预测模型最好，

相关系数为 0.84, 说明冬季气象因子对 AQI 的影响最大, 夏季次之($r = 0.81$), 春季相关系数为 0.71, 秋季回归模型拟合度最小, 相关系数为 0.68。从最优回归方程可以看出, 各个季节影响空气质量的气象因子各不相同, 四季中平均气温、相对湿度和能见度对空气质量指数的影响都存在, 关系最密切。

5. 预报模型预报效果检验

利用 2020 年春季(3~5 月)、夏季(6~8 月)、秋季(9~11 月)、冬季(12~次年 2 月)气象观测值分别对春、夏、秋、冬四季空气质量指数进行预报, 并将其与哈密市环境监测站空气质量指数等级进行对比。

通过检验对比发现(表 2), 空气质量级别预报准确率总体为 78.2%, 没有出现两级以上的级别误差, 各季总体预报准确率夏季最好, 为 92.4%, 其次为秋季和冬季, 春季最低为 70.2%。从各季分级预报来看: 夏、秋、冬三季 I 级(优)准确率都为 100%, 春季 87.5%, 为四季中最差; II 级(良)预报准确最高的为夏季 93.3%, 秋、冬季次之, 春季最小, 但都维持在 80.0%以上; III 级(轻度污染)预报准确率最高的则为春季, 夏、冬、秋季都较低; IV 级(中度污染)预报准确率春、冬季都较低, 夏、秋季未出现空气质量指数为 IV 级的污染日, V 级(重度污染)出现一次, 模式未预报出, VI 级(严重污染)未出现。从各季逐级预报准确率来看: 级别越高, 模式预报准确率逐步降低, 主要原因是 III 级以上级别污染日数出现频率小, 模式难以预报出, 即使模式预报会出现污染, 也会出现一级到两级的误差。综合来看建立的四季空气质量指数预报模型预报效果良好, 预报准确率超过 70%, 可以应用于哈密市空气质量预报业务。

Table 2. Accuracy and error of air quality prediction level in Hami City

表 2. 哈密市空气质量预报级别准确率和级别误差(%)

	I 级	II 级	III 级	IV 级	级	总体
春季	87.5	80.8	83.3	27.3	0.0	70.2
夏季	100.0	93.3	75.0	-	-	92.4
秋季	100.0	89.4	66.7	-	-	82.4
冬季	100.0	85.6	74.6	33.3	-	75.8
误差级别	10.9	2.8	-	-	-	

6. 结论

1) 哈密市近 10 a 空气质量状况总体较好, 优良达标率为 88.4%, 轻度及以上污染天气较少。2014 年轻度及以上污染日数最多, 是空气质量最差的一年, 2011 年轻度以上污染日数最少, 是近 10 a 空气质量最好年; 各季空气质量指数由低到高依次排名为夏季、秋季、冬季、春季, 即空气质量状况夏季最好, 春季最差。

2) 哈密市空气质量 AQI 指数与降水、能见度、气温、相对湿度均呈负相关, 与风速、日照时数、极大风速、气压呈正相关; 不同季节影响空气质量 AQI 指数的气象因子并不完全相同, 其中其起主要作用的气象因子为降水、能见度、相对湿度、风速和极大风速。

3) 建立的哈密市春、夏、秋、冬四季空气质量预报模型方程均通过显著性水平 0.01 的 F 检验, 达到显著性水平。各个季节影响空气质量指数的气象因子各不相同, 其中平均气温、相对湿度和能见度对空气质量指数 AQI 的影响都存在, 且关系最密切。经对 2020 年空气质量指数预报检验, 各季模型预报准确率都超过 70%, 对于 IV 级以上空气质量指数预报效果稍差一些, 但总体预报效果良好, 可以应用于哈密市空气质量预报业务。

7. 讨论

空气质量指数不仅受气象因素影响,还与污染物的排放及输送迁移有重要关系。本文仅分析研究了近 10 a 的空气质量变化特征及与气象因素的相关关系,并基于气象条件建立了四季气象学预报模型,未考虑其他因素的影响,以后将进一步深入研究,以提高哈密市空气质量预报的准确率。

基金项目

哈密市气象局课题(202002)资助。

参考文献

- [1] 李红,曾凡刚,邵龙义,等.可吸入颗粒物对人体健康危害的研究进展[J].环境与健康杂志,2002,19(1):85-87.
- [2] 祁栋林,张加昆,李晓东,等.2001-2011年西宁市空气质量特征及其与气象条件的关系[J].气象与环境学报,2014,30(2):51-59.
- [3] 姜新华,刘霞,薛河儒,等.基于逐步回归的空气质量影响因素分析[J].内蒙古农业大学学报,2015,36(2):123-126.
- [4] 张建忠,孙瑾,王冠岚,等.北京地区空气质量指数时空分布特征及其与气象条件的关系[J].气象与环境科学,2014,37(1):33-38.
- [5] 张建忠,孙瑾,安林昌,等.2013年1-2月北京地区空气质量指数与气象条件分析[J].天气预报技术总结专刊,2013,5(5):51-57.
- [6] 岳岩裕,王晓玲,张蒙晰,等.武汉市空气质量状况与气象条件的关系[J].暴雨灾害,2016,35(3):271-278.
- [7] 王静,邱燊,刘焕彬,等.山东重点城市空气质量及其与气象要素的关系[J].生态环境学报,2013,22(4):644-649.
- [8] 郭勇涛,余峰,王式功,等.兰州市空气质量状况及常规气象条件的关系[J].干旱区资源与环境,2011,25(11):100-105.
- [9] 胡琳,曹红利,张文静,等.西安市环境空气质量变化特征及其与气象条件的关系[J].气象与环境学报,2013,29(6):150-153.
- [10] 王亚良,张家泉,占长林,等.黄石市郊区冬季大气颗粒物污染与气象因子关系分析[J].湖北理工学院学报,2016,32(1):12-17.
- [11] 王芳,吴焕波,陈强.气象因素对兰州市PM₁₀质量浓度的影响[J].生态环境学报,2016,25(1):99-102.
- [12] 赵妙文,曲晓黎,郭蕊.近10a河北省空气质量分布特征及预报模型[J].山东气象,2013,33(3):21-24.
- [13] 胡江波,李小芳,彭诗军,等.汉中市空气质量预报模型及验证[J].陕西气象,2018(2):33-36.
- [14] 林建兴,邱明宇,蔡亲波,等.海口市空气污染特征分析及预报检验[J].气象研究与应用,2007,28(2):49-53.
- [15] 慕彩芸,屠月青,冯瑶.气象因子对哈密市大气可吸入颗粒物浓度的影响分析[J].气象与环境科学.2011,34(增刊):75-79.
- [16] 屠月青,慕彩芸.哈密市空气污染物浓度分布特征及其与气象因子的关系[J].沙漠与绿洲气象,2010,4(6):42-46.
- [17] 中国科学院,中国环境监测总站.GB3095-2012.环境空气质量标准[S].北京:中国环境科学出版社,2012.