

昆明夏季近地面臭氧浓度的变化特征及气象成因分析

徐呈祥*, 肖国杰#, 张荣平, 陈孟佳

成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都

Email: 765140248@qq.com, #xiaogj@cuit.edu.cn, 2385691740@qq.com, 1789219272@qq.com

收稿日期: 2020年9月20日; 录用日期: 2020年10月13日; 发布日期: 2020年10月20日

摘要

利用昆明2015~2017年空气污染物资料和2015~2017年地面气象资料, 对昆明夏季的臭氧浓度情况进行分析, 发现在6月份昆明的臭氧浓度最高, 7月其次, 8月最少。同时对一天中的臭氧浓度变化情况进行分析, 发现一天中臭氧浓度最大值出现在北京时下午3点左右, 臭氧浓度最小值出现在北京时上午8点左右。在对臭氧浓度和气象条件进行相关性分析之后发现, 相对湿度与臭氧浓度相关性最大, 且呈负相关。对臭氧浓度与气象因子做逐步回归分析, 得出昆明夏季臭氧浓度在有雨日和无雨日的预报方程。

关键词

臭氧浓度, 气象要素, 相对湿度, 相关分析, 回归分析

Variation Characteristics of Near Surface Ozone Concentration and Meteorological Cause Analysis in Summer in Kunming

Chengxiang Xu*, Guojie Xiao#, Rongping Zhang, Mengjia Chen

College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan

Email: 765140248@qq.com, #xiaogj@cuit.edu.cn, 2385691740@qq.com, 1789219272@qq.com

Received: Sep. 20th, 2020; accepted: Oct. 13th, 2020; published: Oct. 20th, 2020

Abstract

Based on the air pollutant data of 2015-2017 and the ground meteorological data of 2015-2017 in

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 徐呈祥, 肖国杰, 张荣平, 陈孟佳. 昆明夏季近地面臭氧浓度的变化特征及气象成因分析[J]. 环境保护前沿, 2020, 10(5): 663-671. DOI: 10.12677/aep.2020.105082

Kunming, the ozone concentration in summer in Kunming was analyzed. It was found that the ozone concentration in June was the highest, in July the second, and in August the lowest. At the same time, the change of ozone concentration in a day was analyzed. It was found that the maximum value of ozone concentration in a day appeared around 3:00 p.m. Beijing time, and the minimum value of ozone concentration appeared around 8:00 a.m. Beijing time. After the correlation analysis of ozone concentration and meteorological conditions, it is found that the correlation between relative humidity and ozone concentration is the largest and negative correlation. A stepwise regression analysis of ozone concentration and meteorological factors was performed to obtain the prediction equations of Kunming summer ozone concentration in rainy and non-rainy days.

Keywords

Ozone Concentration, Meteorological Factors, Relative Humidity, Correlation Analysis, Regression Analysis

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

臭氧是大气中十分重要的一种物质,其大约 90%分布在平流层,另外 10%集中在对流层,是温室气体和光化学氧化剂。其中近地面臭氧是典型的二次污染物[1],主要是由氮氧化物(NO_x)和有机化合物(VOCs)等物质在紫外线的照射下经过复杂的光化学反应产生的[2]。对人类生产生活有着不良的影响,对人体健康、农作物、建筑物、生态环境等等都有不同程度的危害[3]。

随着我国城市化进程的加快,汽车保有量也随之快速增加,我国各城市的臭氧浓度呈现出上升趋势,臭氧也渐渐成为影响城市空气质量的重要因素。昆明作为著名的旅游城市,特别需要关注空气环境状况,而臭氧作为大气污染的重要指标之一必须重视。截至目前,昆明市机动车保有量已经超过 200 万辆[4],与发生光化学烟雾事件的上世纪中叶的洛杉矶相当。车辆产生大量的氮氧化物(NO_x)是对流层臭氧的重要前体物[5][6]。昆明地处云贵高原,在昆明准静止锋暖气团一侧,天气晴好,四季如春,阳光充足,紫外线强度较高,有利于臭氧的产生。因此,对昆明近地面臭氧进行研究是十分必要的。

气象要素在 O₃ 形成、沉降、传输和稀释中扮演着重要角色。局地气象条件如风向、风速、温度和相对湿度等对 O₃ 及其前体物的时间变化具有重要影响[7]。本文从气象要素着手,寻找导致昆明臭氧污染的主要气象要素。

2. 数据与研究方法

2.1. 数据来源

本文数据来源于国家人口与健康科学数据共享服务平台。使用 2015~2017 年昆明夏季 6~8 月逐时臭氧浓度资料以及 2015~2017 年昆明(102°41'E、25°01'N,海拔 1896.8 m)夏季 6~8 月气压、气温、降水量、相对湿度、风速、风向以及日照时数的逐日气象观测资料。

2.2. 数据采用的研究方法

检测指标参考新版《环境空气质量标准》(GB3095-2012)[8],主要使用 Microsoft Excel 2010 和 IBM

SPSS Statistics 24 软件进行数据处理和绘图。通过对昆明夏季臭氧浓度进行日变化、月变化、季变化的数据处理,分析其变化规律。同时,利用 SPSS 计算臭氧浓度与各气象要素之间的相关系数,找出相关性显著的要素。利用逐步线性回归分析得出昆明夏季臭氧浓度的气象预报方程。

3. 结果与分析

3.1. 昆明夏季臭氧浓度变化情况

3.1.1. 昆明夏季臭氧月均值变化

2015~2017 年昆明 6~8 月臭氧浓度月均值呈现递减趋势,如图 1 所示,6~7 月降幅较大,为 $3.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$; 7~8 月降幅相对较小,为 $1.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

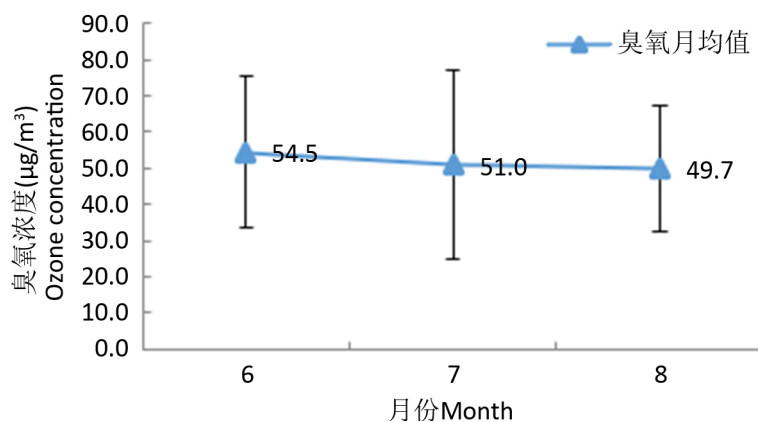


Figure 1. Monthly mean variation of ozone in Kunming in summer

图 1. 昆明夏季臭氧月均值变化

3.1.2. 昆明夏季臭氧浓度月变化

昆明夏季臭氧三年平均浓度最高值出现在 6 月上旬(图 2), 7、8 月也会出现较高的臭氧浓度峰值, 但均没有超过 6 月上旬的浓度值。较为特殊的是 2015 年 7 月中上旬出现的臭氧峰值, 相较于其他年份同期臭氧浓度明显偏高。

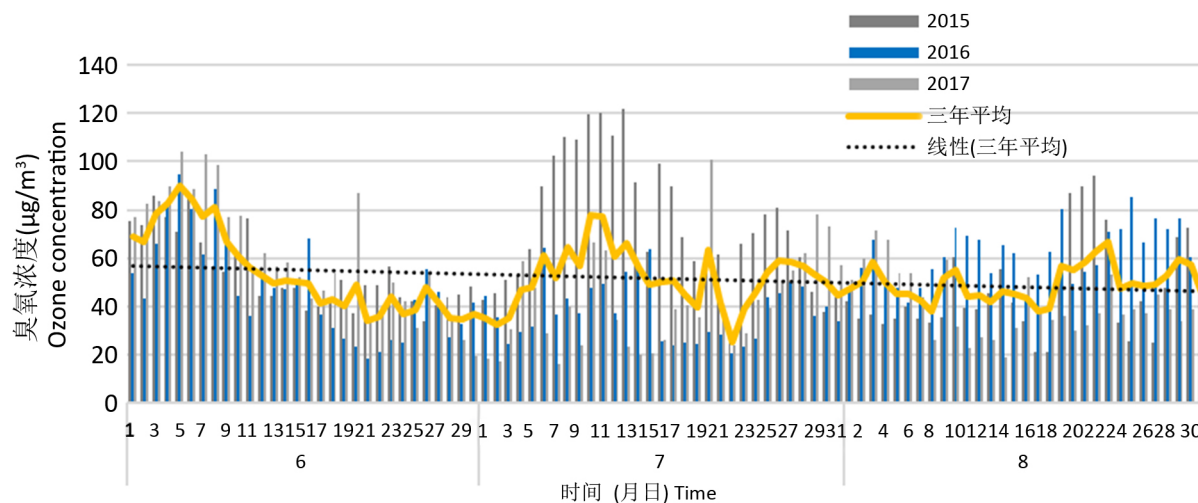


Figure 2. Changes of ozone concentration in Kunming in summer

图 2. 昆明夏季臭氧浓度变化

同样的,昆明6~8月逐时臭氧浓度值超出国家臭氧浓度1小时平均一级标准的时次主要集中在2015年7月(图3),该月臭氧浓度值大于 $160\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ 的时次高达50次,出现的时次远远大于观测数据中的其他月份。

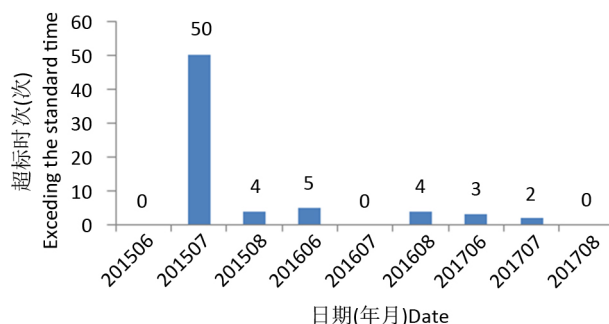


Figure 3. Time of exceeding the first level national ozone concentration standard

图3. 超国家臭氧浓度一级标准时次

3.1.3. 昆明夏季臭氧浓度日变化

对2015~2017年昆明夏季6~8月每日臭氧浓度资料做小时平均得图4,由图可知,昆明夏季一天中,臭氧最低值一般出现在北京时间上午8点(地方时约7点)左右,最高值一般出现在北京时间15点(地方时约14时)左右。

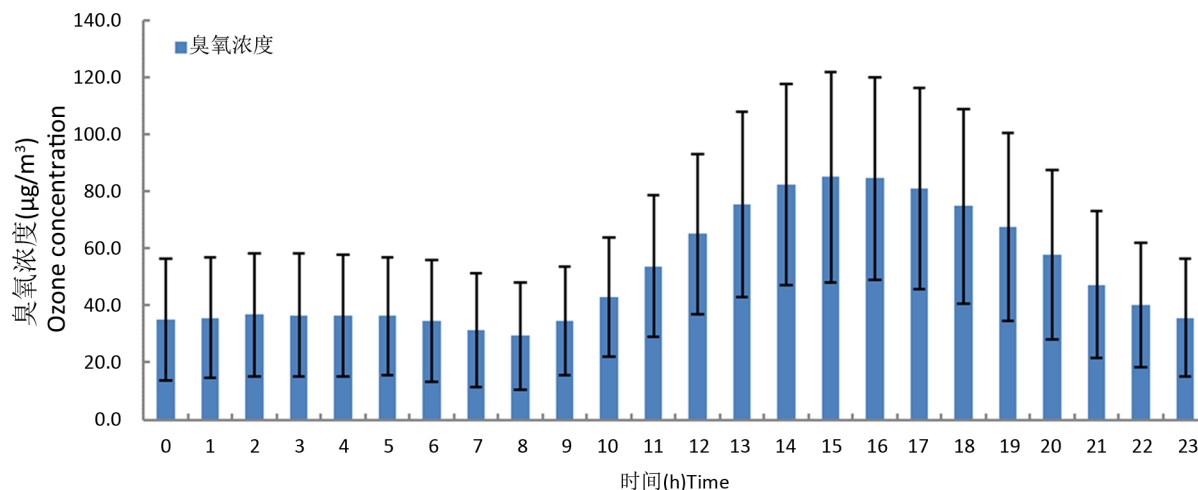
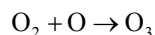
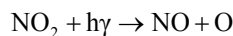


Figure 4. Daily variation of ozone concentration in Kunming in summer

图4. 昆明夏季臭氧浓度日变化

臭氧浓度开始上升的时间与早高峰的时间基本一致[9],说明近地面臭氧的产生可能与汽车氮氧化物的排放有较大关系。

其中 NO_2 发生如下光化学反应导致臭氧浓度升高:



对2015~2017年昆明夏季6~8月每日 NO_2 浓度资料做小时平均得图5, NO_2 在光照下会分解为NO和氧离子,因此夜晚 NO_2 浓度较高,白天浓度较低。但是图5中在上午8时出现了一个峰值,这说明了

应该是早高峰导致了 NO_2 浓度的上升。随后光照继续变强，光化学反应加快， NO_2 浓度下降，臭氧浓度于是上升。

臭氧浓度最高值一般出现的时间与一天中温度最高的时间一致，滞后于一天中光照时间最强烈的时间，说明臭氧浓度与气温高度可能有类似的关系，增长率最高点出现在光照最强烈的正午，增长率在地方时 14 时之后变负。

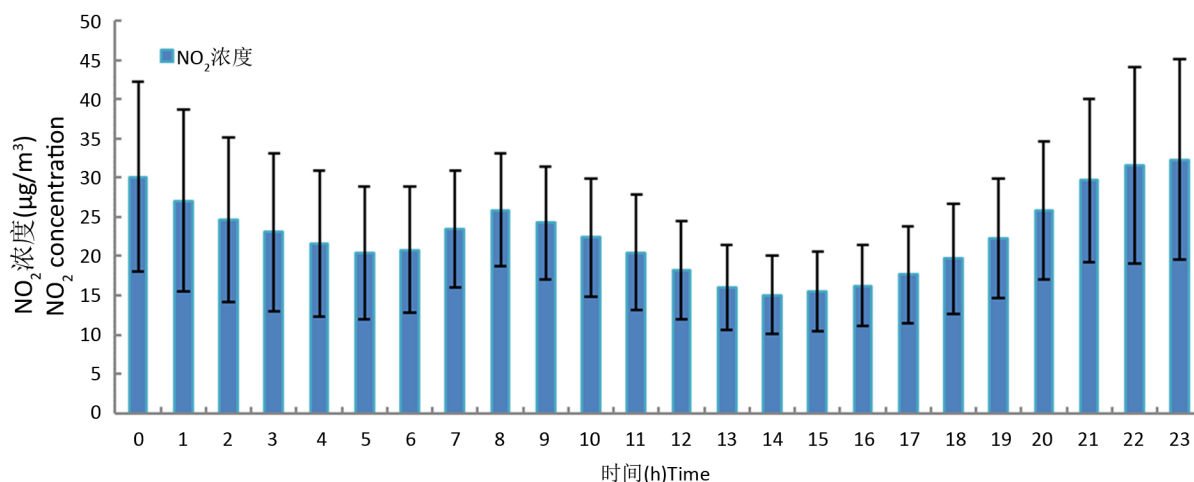


Figure 5. Diurnal variation of nitrogen dioxide concentration in summer in Kunming

图 5. 昆明夏季二氧化氮浓度日变化

3.2. 相关分析

对昆明夏季气象因子和臭氧浓度数据进行相关性分析，发现与臭氧浓度相关性达到显著水平为 $\alpha = 0.01$ 的气象因子有平均气温、日最高气温、日最低气温、平均相对湿度、最小相对湿度、日照时数，其中臭氧浓度与日最低气温、平均相对湿度、最小相对湿度呈负相关，与平均气温、日最高气温、日照时数呈正相关(表 1)。与臭氧浓度相关性达到显著水平为 $\alpha = 0.05$ 的气象因子有日最低气压，呈负相关。其他因子相关性不显著。

其中相对湿度与臭氧浓度的相关性最为显著，相对湿度越大，臭氧浓度相应越小。而日照时间是正相关最为显著的气象要素，符合光化学反应的基本原理，说明日照是影响臭氧浓度的关键因子。气温也是影响臭氧浓度的重要因子，温度越高，光化学反应也越快，而温度越低，则光化学反应受到抑制。

Table 1. Analysis of the correlation between ozone concentration and meteorological factors in Kunming in summer

表 1. 昆明夏季臭氧浓度与气象要素相关性分析

	平均 气压 (hPa)	日最高 气压 (hPa)	日最低 气压 (hPa)	平均 气温 (°C)	日最高 气温 (°C)	日最低 气温 (°C)	平均相 对湿度 (%)	最小相 对湿度 (%)	日降 水量 (mm)	平均 风速 (m/s)	日照 时数 (h)
相关系数	0.019	0.046	-0.142*	0.202**	0.351**	-0.337**	-0.591**	-0.637**	0.102	0.015	0.429**
显著性 (双尾)	0.756	0.463	0.022	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.101	0.811	0.000
个案数	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260

注：*在 0.05 级别(双尾)，相关性显著。**在 0.01 级别(双尾)，相关性显著。

3.3. 影响臭氧浓度的主要气象因子分析

3.3.1. 昆明夏季相对湿度变化对臭氧浓度的影响

昆明6月相对湿度明显低于7、8月(图6),由相关性分析可知臭氧浓度和平均相对湿度和最小相对湿度负相关,且相关性在各气象要素中最大,相对湿度升高可使臭氧浓度下降[10],因此6月较低的最小相对湿度和平均相对湿度的气象条件易发生臭氧污染。

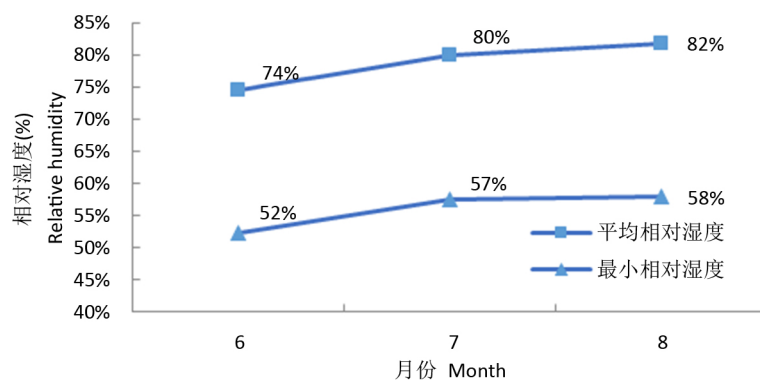


Figure 6. Changes of relative humidity in Kunming in summer

图6. 昆明夏季相对湿度变化

3.3.2. 昆明夏季日照对臭氧浓度的影响

昆明夏季6月日照时数最大,8月次之,7月最小,如图7所示。紫外线照射是光化学反应的关键环节,6月和8月日照都较为充足,利于臭氧污染的产生。

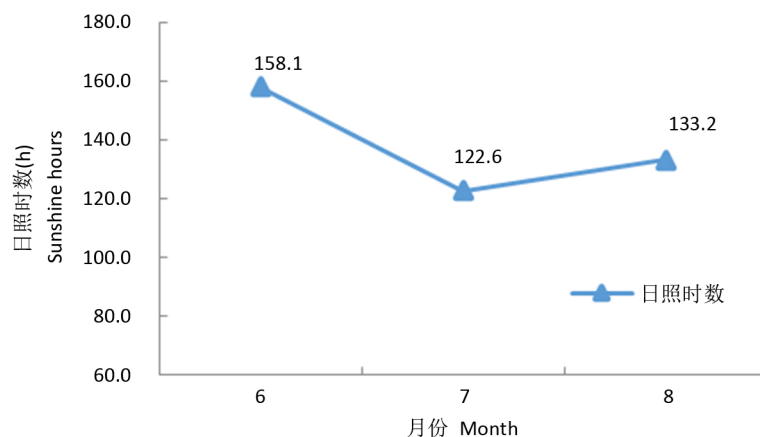


Figure 7. Changes of sunshine hours in Kunming in summer

图7. 昆明夏季日照时数变化

3.3.3. 昆明夏季气温变化对臭氧浓度的影响

昆明平均气温6~8月呈现下降趋势(图8),而温度越高,越有利于光化学反应的产生。6月最高温度明显大于7、8月,而由相关性分析可以看出,臭氧浓度与日最高气温呈正相关,因此在最高气温上6月较7、8更有利于臭氧的产生。

3.3.4. 昆明夏季降水量变化对臭氧浓度的影响

昆明7、8月的降水量显著大于6月(图9),降水有利于臭氧前体物的溶解清除,同时也有利于相对

湿度的升高。由相关性分析可知,臭氧浓度和日降水量相关性不显著(表 1),但是将有雨日和无雨日的月平均臭氧浓度值(图 10)进行比较可知,降水有利于臭氧浓度的下降,这也有可能是因为降水提升了相对湿度且降低了日照时数所导致。

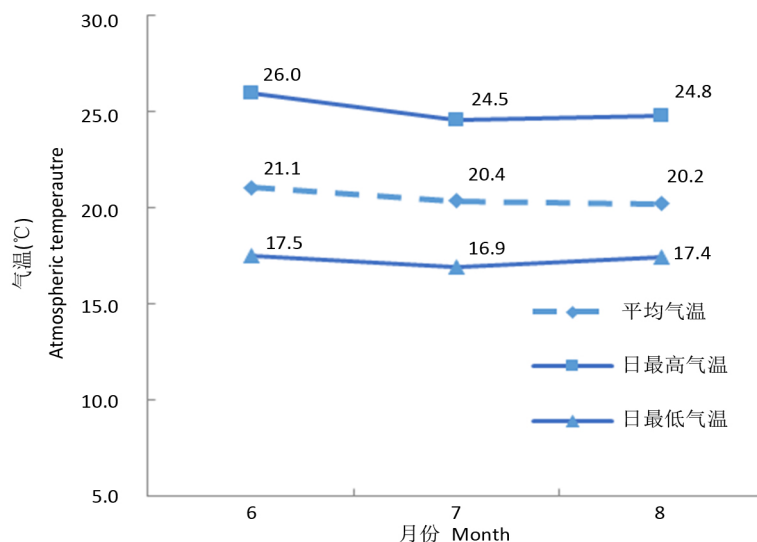


Figure 8. Summer temperature change in Kunming

图 8. 昆明夏季气温变化

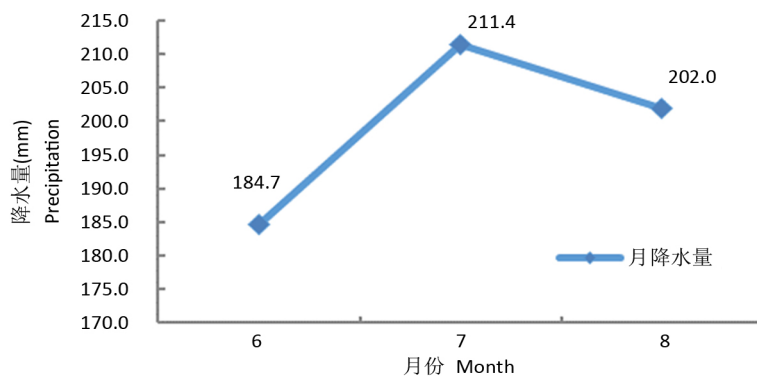


Figure 9. Variation of monthly precipitation in Kunming in summer

图 9. 昆明夏季月降水量变化

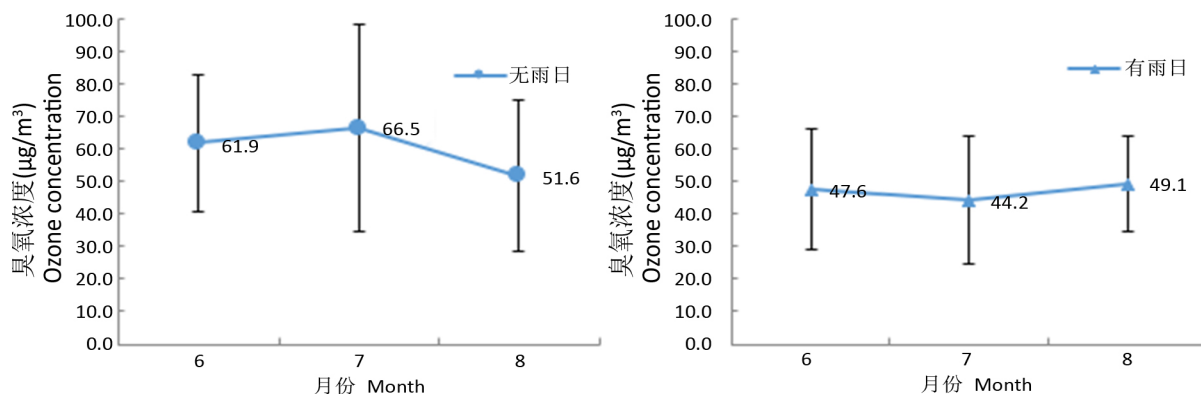


Figure 10. Monthly mean of ozone on rainy and rainless days

图 10. 有雨日和无雨日月平均臭氧浓度值

3.4. 相关分析

由前面的分析可知臭氧浓度与气象因子有较大的相关性, 考虑到降水对臭氧浓度产生的影响, 现将要素分为有雨日和无雨日分别对臭氧日平均浓度进行逐步回归分析。

3.4.1. 昆明夏季有雨日臭氧浓度回归分析

通过逐步回归分析, 得到昆明夏季有雨日臭氧浓度回归方程:

$$Y_1 = 254.136 - 66.363X_1 - 6.776X_2 - 61.468X_3$$

式中: Y_1 为昆明夏季有雨日臭氧浓度; X_1 为最小相对湿度; X_2 为日最低气温; X_3 为平均相对湿度。

复相关系数 $R = 0.667$, 说明回归方程与真实值拟合程度较高, 能较好地预测臭氧浓度的变化。回归方程统计量 $F = 44.333$, 通过 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验。

3.4.2. 昆明夏季无雨日臭氧浓度回归分析

昆明夏季无雨日臭氧浓度逐步回归方程为:

$$Y_2 = 300.331 - 284.204X_3 - 16.085X_4$$

式中: Y_2 为昆明夏季无雨日臭氧浓度; X_3 为平均相对湿度; X_4 为平均风速。

该回归方程的复相关系数 $R = 0.800$, 比有雨日回归方程的复相关系数更高, 说明此回归方程与真实值拟合程度更高, 可以较好地预测昆明无雨日臭氧浓度的变化。回归方程统计量 $F = 77.099$, 通过 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验。

3.5. 结论

1) 分析昆明各气象要素并结合臭氧浓度的数据, 6 月是昆明夏季最易出现臭氧污染的月份, 其次是 7 月和 8 月。所用数据中超出国家臭氧浓度 1 小时平均一级标准的时次主要集中在 2015 年 7 月上旬连续几天的中午附近。因此, 夏季的臭氧防治工作必须得到重视, 不仅仅要考虑通常的气象背景下臭氧的防治, 也要考虑在极端气象条件下臭氧的防治。

2) 一天中臭氧浓度最大值出现在北京时下午 3 点(地方时下午 2 时)左右, 臭氧浓度最小值出现在北京时上午 8 点左右, 说明一天中臭氧浓度在光照强度达到最大值之后两小时到达最高值, 随后开始下降, 与气温类似。而最小值出现在早高峰时段, 车辆排放大量氮氧化物, 并在光照作用下发生光化学反应, 于是之后臭氧浓度开始上升。

3) 对臭氧浓度影响最大的气象要素为最小相对湿度, 其与臭氧浓度的相关性最大, 呈负相关。因此在对未来臭氧污染的预报中, 要特别关注相对湿度的变化, 其与近地面臭氧浓度有着相当密切的联系。

4) 昆明在夏季的平均相对湿度较大, 但最小相对湿度较小, 在相对湿度较小的气象条件下, 易产生臭氧浓度的超标。因此对滇池的研究和保护就显得尤为重要。与此同时, 人工对空气进行加湿也可以作为极端气象条件下的可选项。

5) 通过逐步回归分析发现昆明夏季臭氧浓度受降水影响, 有雨日与无雨日逐步回归方程不同。在预报夏季臭氧浓度时, 可以根据有雨、无雨选择不同的预报方程。

致 谢

感谢国家人口与健康科学数据共享服务平台气象为本论文提供数据支持。

参考文献

[1] 王开燕, 邓雪娇, 张剑, 李菲, 邓涛, 麦博儒. 广州南沙区 O_3 浓度变化及其与气象因子的关系[J]. 环境污染与防

- 治, 2012, 34(6): 23-26.
- [2] 赵旭辉, 董昊, 季冕, 程龙, 耿天召. 合肥市 O₃ 污染时空变化特征及影响因素分析[J]. 环境科学学报, 2018, 38(2): 649-660.
- [3] 张远航, 邵可声, 唐孝炎, 李金龙. 中国城市光化学烟雾污染研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 1998(Z1): 260-268.
- [4] 徐仲莹, 翟辉. 绿色交通视野下的昆明自行车交通发展问题与策略分析[J]. 华中建筑, 2016, 34(8): 154-158.
- [5] 齐冰, 牛彘文, 杜荣光, 于之锋, 应方, 徐宏辉, 洪盛茂, 杨焕强. 杭州市近地面大气臭氧浓度变化特征分析[J]. 中国环境科学, 2017, 37(2): 443-451.
- [6] 徐怡珊, 文小明, 苗国斌, 王晓玲, 王鸯鸯. 臭氧污染及防治对策[J]. 中国环保产业, 2018(6): 35-38.
- [7] 李子尧, 崔树玉, 赵克义, 温宪芹, 刘文杰, 高萌. 相对湿度对臭氧空气消毒模拟现场试验的影响[J]. 中国消毒学杂志, 2010, 27(2): 139-141.
- [8] 中华人民共和国生态环境部. 环境空气质量标准[S].
- [9] 刘玉彻, 徐敬, 王淑凤, 孟昭阳. 影响北京夏季 O₃ 污染的 O₃ 前体物浓度及天气条件分析[J]. 气象与环境学报, 2006(6): 34-37.
- [10] 安俊琳, 王跃思, 孙扬. 气象因素对北京臭氧的影响[J]. 生态环境学报, 2009, 18(3): 944-951.