

成都地区地气温差演变规律对空气质量的影响研究

龙艺文, 王超*, 陈亚玲, 冉欢欢, 杨巨佳, 肖天贵

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8月17日; 录用日期: 2020年9月1日; 发布日期: 2020年9月8日

摘要

地气温差的变化会直接影响地表感热通量的变化, 从而影响边界层结构特征, 而不同的边界层结构对空气污染物的稀释、扩散有不同的影响。本文利用成都市温江站2014年的地表观测资料和空气质量观测资料, 分析了地气温差和空气质量的年、季节、日变化和季节日变化特征, 讨论地气温差对空气质量的影响。结果表明: (1) 成都地区地气温差的年平均值为2.2℃, 一年中地气温差的最大值出现在5月, 最小值出现在11月; 秋季的地气温差最小, 冬季次之, 春季的温差最大; 地气温差的日变化显著, 地气温差的变化幅度春季最大, 秋季最小。(2) 总的来讲, 地气温差越小越容易出现颗粒物浓度的大值; 地气温差越大, 越有利于污染物的稀释、扩散, 空气质量越好。利用地气温差对污染物浓度的影响特征, 可作为污染潜势预报的参考依据。

关键词

成都, 地气温差, 空气质量, 污染潜势预报

A Study on the Evolution Law of Ground Temperature Difference in Chengdu and Its Influence on Air Quality

Yiwen Long, Chao Wang*, Yaling Chen, Huanhuan Ran, Jujia Yang, Tianguai Xiao

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: Aug. 17th, 2020; accepted: Sep. 1st, 2020; published: Sep. 8th, 2020

*通讯作者。

文章引用: 龙艺文, 王超, 陈亚玲, 冉欢欢, 杨巨佳, 肖天贵. 成都地区地气温差演变规律对空气质量的影响研究[J]. 气候变化研究快报, 2020, 9(5): 446-453. DOI: 10.12677/ccrl.2020.95049

Abstract

The change of the temperature difference between the earth and the atmosphere will directly affect the change of the sensible heat flux of the earth's surface, thus affecting the structure of the boundary layer, and different boundary layer structures have different effects on the dilution and diffusion of air pollutants. Based on the meteorological and air quality observation data of Wenjiang station in Chengdu in 2014, this paper analyzes the annual, seasonal, daily and seasonal daily variation characteristics of the ground air temperature difference and air quality, and discusses the influence of the ground air temperature difference on the air quality. The results show that: (1) the annual average value of the ground air temperature difference in Chengdu is 2.2°C. The maximum value of the ground air temperature difference in a year appears in May and the minimum value in November; the autumn ground air temperature difference is the smallest, followed by winter. The daily variation of the temperature difference between the earth and the atmosphere is obvious, and the variation range of the temperature difference between the earth and the atmosphere is the largest in spring and the smallest in autumn. (2) The smaller the ground air temperature difference is, the higher the particle concentration is; the larger the ground air temperature difference is, the more conducive to the dilution and diffusion of pollutants, and the better the air quality. The characteristics of the temperature difference between ground and air can be used as a reference for the prediction of pollution potential.

Keywords

Chengdu, Ground Air Temperature Difference, Air Quality, Prediction of Pollution Potential

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

地气温差($T_s - T_a$)是表征地表加热状况的重要指标,地气温差的正负和变化趋势基本上反映了地表感热通量的变化情况[1] [2]。在陆气相互作用过程中,感热通量能够直接影响边界层的高度、结构和特征,进而影响大气湍流、混合层厚度等气象条件[3] [4]。空气质量与污染物的排放浓度、气象条件等有密切联系[5] [6],大气稳定度、混合层厚度对污染物的稀释、扩散也能影响空气质量[7] [8] [9]。所以,研究地气温差的分布特征能够在一定程度上反映空气质量的分布状况,对空气质量的预报等有重要的现实意义。

不同研究学者对不同地区的地气温差、感热通量的分布、变化特征进行了研究[10] [11] [12] [13] [14];周连童等[15]表明长江中下游地区春夏季地气温差与夏季降水存在正相关关系,华北地区有负相关关系;刘颖[16]指出青藏高原春季的地气温差与长江中下游地区夏季降水存在显著的正相关。在大气污染方面,国内学者对主要城市及城市群的空气污染问题进行了大量研究[17] [18] [19],分析讨论了不同污染过程的污染物浓度演变及其气象影响因子,郑庆锋等[20]基于上海地区 AQI 指数和风速、气温、相对湿度等气象要素,分析了上海地区空气质量变化特征以及气象要素对空气质量的影响;杨孝文等[21]通过对北京一次重污染过程的研究,发现稳高湿度低风速的地面气象条件等因素是造成此次大气重污染过程的主要原因;Wang 等[22]研究表明行星边界层稳定,混合高度低,抑制了行星边界层的大气湍流,为霾的形成提供了有利的气象条件。

本文采用成都温江站(103.52 E、30.45N) 2014年逐时的气温、地面温度的地面气象观测资料和PM10、PM2.5 的质量浓度数据分析地气温差变化特征，对地气温差与颗粒物浓度之间的关系进行分析，讨论成都地区地气温差对空气质量的影响。

2. 地气温差演变规律

2.1. 地气温差总体分布特征

图 1 为地气温差、气温和地温的频率分布直方图。从图 1(a)可以看出，成都地区地面 - 大气之间的温差主要集中在-2℃~2℃之间，约占整个地气温差频率分布的 70%。地气温差的年平均值为 2.2℃，方差为 16℃。根据图 1(b)，成都地区的气温分布较为均匀，其中 15℃~25℃占比较多，为 48%左右。由图 1(c)可知，成都地区的地表温度大多低于 30℃，其中地温在 20℃~24℃约为全年的 16%，所占比例最高。

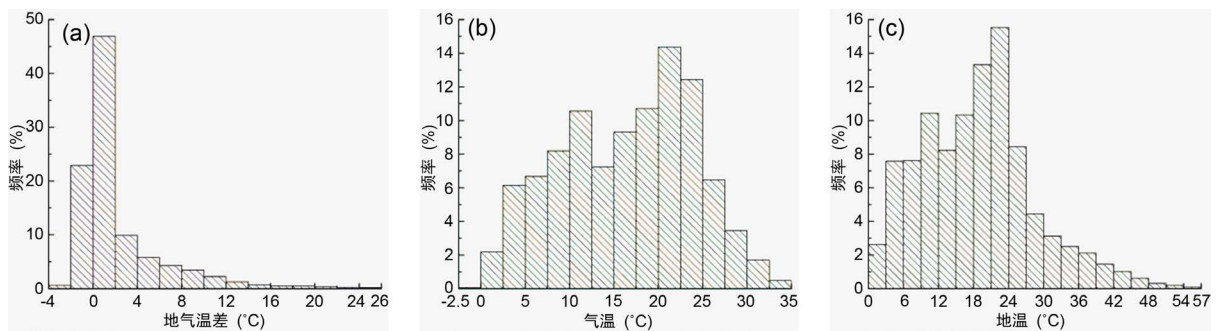


Figure 1. General distribution characteristics of Ts-Ta (a), Ta (b) and Ts (c)

图 1. 地气温差(a)、气温(b)和地温(c)的总体分布特征

2.2. 地气温差年、季节变化特征

图 2 为成都地区 2014 年地气温差的年变化特征(a)和季节变化特征(b)。

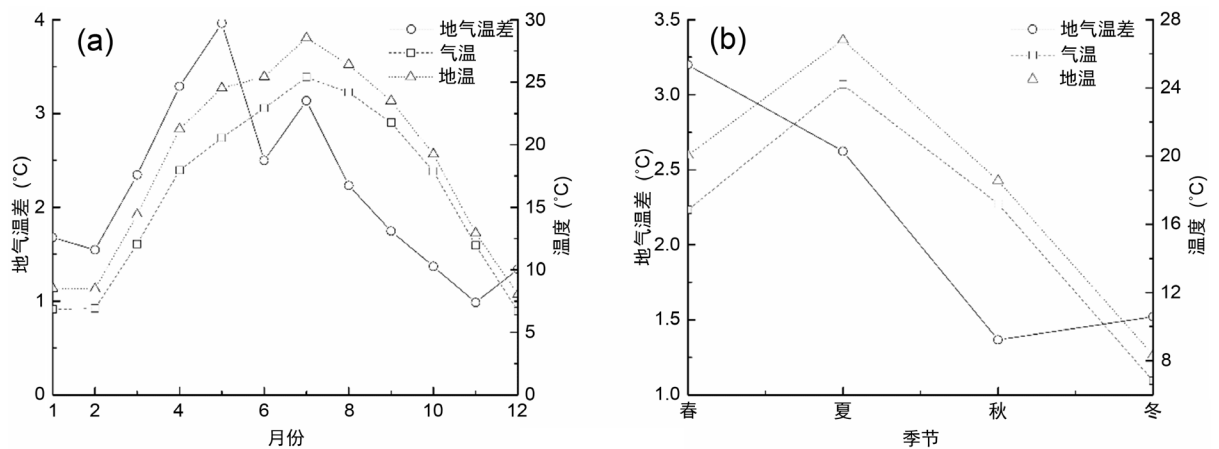


Figure 2. Annual variations (a) and seasonal variations (b) of temperature

图 2. 温度的年变化(a)和季节变化特征(b)

由图 2(a)可以看出，成都地区地表温度呈现单峰型变化趋势先增温，在 7 月份达到最大值，然后温度开始降低。地气温差的变化呈现明显的双峰型。地表与大气之间的温差在 5 月份达到最大值，最大温差为 3.96℃，11 月出现地气温差的最小值，最小温差为 0.98℃。从图 2(b)中可知，地气温差在季节变化

中先减小后增大，在秋季达到地气温差的最小值。虽然夏季接受到的太阳辐射最多，温度最高，但由于气温和地温都很高，所以地气温差在夏季并不是最大。春季地表接受的太阳辐射开始增加，地表温度上升，但气温的增温较慢，导致地面与大气之间的温差达到最大，虽然冬季的气温和地表温度都很低，地气温差并不是在冬季最小；但秋地温在秋季开始降低时，气温的降温相对较慢，所以导致秋季的地气温差最小。

2.3. 地气温差日变化特征

图 3 为成都地区 2014 年地面与大气之间温差的日变化和季节日变化特征。从图 3(a)中可以看出地气温差先增加后减小，变化趋势大致是以 14 时为轴的对称图形。在日变化图中可知，地气温差在 14 时达到最大值，为 8.31°C ，同时可以看出，地面温度与气温在晚上 8 点到早上 7 点这段时间差异不大，地气温差基本在 0°C 左右。地温和气温的变化趋势大致相同，但气温的变化相对于地表温度的变化具有滞后性，这是因为太阳辐射加热地面，地面放出热量加热大气需要一定的时间。图 3(b)为不同季节地气温差的日变化特征。如图所示，四季地气温差日变化趋势相似，温差在四季都是在午后达到最大值，但在变化幅度上有明显差异，春季地气温差变化幅度最大，其变化幅度约为 12.65°C ，秋季变化幅度最小为 5.43°C 。

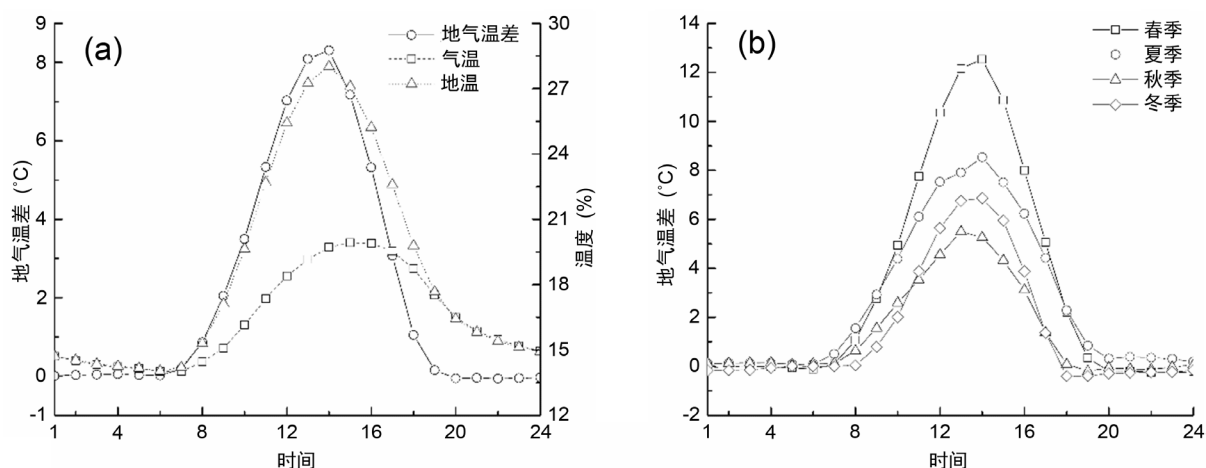


Figure 3. Diurnal variation (a) and seasonal diurnal variation (b) of Ts-Ta

图 3. 地气温差日变化(a)和季节日变化(b)

3. 地气温差对空气质量的影响

以成都为经济中心的四川盆地已成为我国四大灰霾高发区之一。成都地区的大气污染以 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 为主，所以本文对空气质量的讨论主要是集中在颗粒物浓度的讨论上，以下是对颗粒物浓度变化的讨论。

图 4 为 2014 年成都地区颗粒物浓度和地气温差的年平均日变化图。从图中可知 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度随时间的变化趋势大致相同；地气温差在日出后到傍晚这段时间有明显的变化，地面与大气之间的温差在午后到达最大值，夜间的地温与气温差异不大。从地气温差与颗粒物浓度的变化来看，在凌晨地气温差和颗粒物浓度的变化都不大；上午 8 时之后，地气温差开始增大，大气的湍流运动开始增强，随后颗粒物浓度出现显著降低，白天地气温差明显大于 0°C ，湍流较强，颗粒物逐渐降低；傍晚之后，地气温差接近于 0°C ，地面与大气的温度大致相等，此时湍流活动较弱，大气的扩散能力减弱，颗粒物不断累

积，浓度在夜间大致呈现增加的趋势。地气温差和颗粒物浓度变化趋势并不一致，说明颗粒物浓度对地气温差的响应具有一定的滞后性。

为了解地气温差与颗粒物浓度之间存在的关系，本文把地气温差从-4.5℃到 28.5℃间隔 1.5℃分成 22 个区间，分区间讨论与颗粒物浓度的关系。

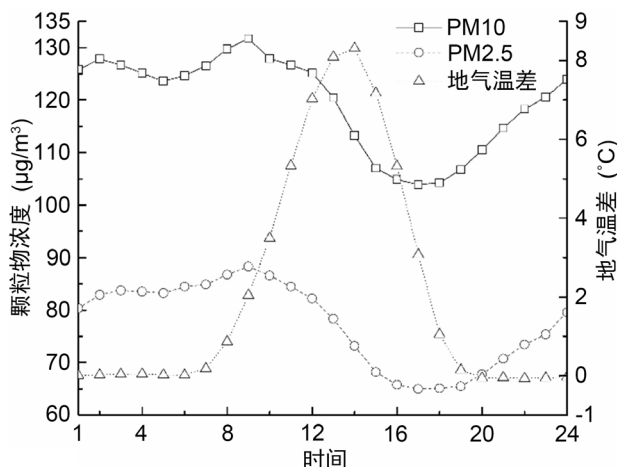


Figure 4. Diurnal variation characteristics of Ts-Ta and particulate matter concentration
图 4. 地气温差与颗粒物浓度的日变化特征

图 5 为 PM10 (a)浓度和 PM2.5 (b)浓度在不同地气温差区间上的分布图。从图中可以看出，低地气温差对应高的颗粒物浓度，随着地气温差的增大，颗粒物浓度逐渐减小。这是因为地面对大气的加热作用越强，边界层顶偏高，边界层内湍流运动越活跃，有利于污染物在大气中的稀释、扩散，所以地气温差越大，观测到的颗粒物浓度就越低。

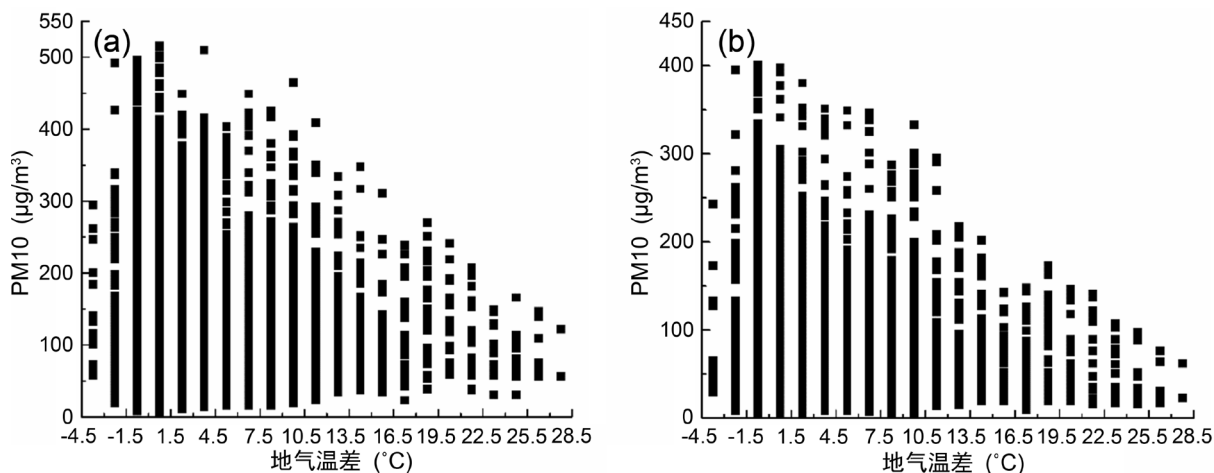


Figure 5. Scatter plot of particulate matter concentration in different regions of Ts-Ta
图 5. 不同地气温差区间颗粒物浓度散点图

4. 空气质量优劣事件地气温差对比

成都地区影响空气质量的首要污染物通常为 PM2.5，所以本文选取成都 2014 年冬季月份中最高和最低 PM2.5 浓度的 5 天进行个例分析，表 1 列出了 2014 年冬季月份 PM2.5 浓度最高和最低时对应的日期。

Table 1. Date of high and low PM2.5 concentration in winter
表 1. 冬季月份高、低 PM2.5 浓度日期

高 PM2.5 事件		低 PM2.5 事件	
时间	PM2.5 浓度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	时间	PM2.5 浓度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1 月 27 日	318	12 月 16 日	28
1 月 28 日	313	12 月 10 日	30
1 月 30 日	306	2 月 6 日	33
1 月 29 日	296	12 月 1 日	36
1 月 31 日	258	12 月 11 日	39

利用表 1 空气质量最好(低 PM2.5 浓度)和空气质量最差(高 PM2.5 浓度)的 5 天, 绘制这些天地气温差的平均日变化图。高 PM2.5 浓度的 5 天对应的日期是 1 月 27 日~31 日, 低 PM2.5 浓度的 5 天分别是 12 月 10、11、16、17 日, 2 月 6 日。

图 6 为典型事件中地气温差平均日变化特征图。从图 6 中可以看出, 高 PM2.5 浓度的 5 天和低 PM2.5 浓度的 5 天平均日变化趋势相似, 有显著的日变化特征。从图中可知高 PM2.5 浓度时的地气温差大部分时间都小于低 PM2.5 浓度时的地气温差, 说明地气温差越大, 空气质量越好, 特别是在 20 时-次日 8 时, 高、低 PM2.5 事件中平均地气温差分别为 0.85°C 和 1.33°C , 这是由于地面与大气之间的温差越大, 大气的湍流活动越强, 污染物更容易稀释、扩散。但在白天午后, 高 PM2.5 事件地气温差更大, 这是由于在成都冬季, 低 PM2.5 往往发生在北方冷空气入侵时, 冷空气入侵带来阴雨天气的出现, 所以地面接收到的太阳辐射较弱, 导致地气温差较小, 这与上文结论并不矛盾。图中黑色实线为 0°C 地气温差线, 相比低 PM2.5, 高 PM2.5 浓度在夜间的地气温差均小于 0, 说明日落后有显著的有逆温现象, 从而抑制了污染物的稀释、扩散, 从而更容易出现低污染事件。

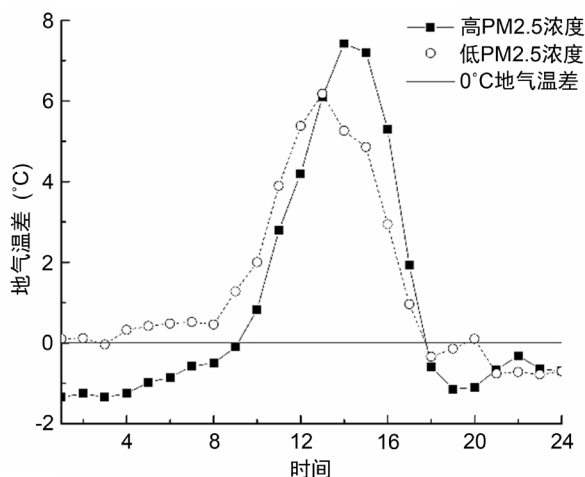


Figure 6. The average daily variation of Ts-Ta in an example
图 6. 个例的地气温差平均日变化图

5. 结论与展望

本文利用成都市 2014 年的气象观测资料和空气质量资料, 分析了地气温差演变特征及其对空气质量的影响, 得到如下结论:

(1) 成都地区地气温差的年平均值为 2.2℃, 一年中地气温差的最大值出现在 5 月, 最小值出现在 11 月; 秋季的地气温差最小, 冬季次之, 冬季的温差最大。在一天中, 地气温差的变化明显, 午后 14 时的地气温差为一天中的最大值, 且日变化趋势以 14 时为轴对称分布; 一天中地气温差的变化幅度春季最大, 秋季最小。

(2) 总的来讲, 地气温差越小, 越容易出现颗粒物浓度的大值; 地气温差越大, 越有利于污染物的稀释、扩散, 空气质量越好。但在成都, 冬季, 空气质量优良天气往往出现在北方冷空气入侵时, 此时带来的阴雨天气使得在白天地气温差反而更小, 所以地气温差对空气质量的影响作用并不一致, 在实际工作中需要对背景情况进行讨论。利用本文对成都地气温差的特征分析, 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温度的预报, 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(BKJX2019120)。

参考文献

- [1] 范丽军, 韦志刚, 董文杰. 西北干旱区地气温差的时空特征分析[J]. 高原气象, 2004, 23(3): 360-367.
- [2] Zhou, L.-T., Wu, R.-G. and Huang, R.-H. (2010) Variability of Surface Sensible Heat Flux over Northwest China. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, **3**, 75-80. <https://doi.org/10.1080/16742834.2010.11446847>
- [3] 万云霞, 张宇, 等. 感热变化对东亚地区大气边界层高度的影响[J]. 高原气象, 2017, 36(1): 173-182.
- [4] 赵采玲, 吕世华, 等. 夏季巴丹吉林沙漠陆面热状况对边界层高度影响的模拟实验[J]. 高原气象, 2014, 33(6): 1526-1533.
- [5] Song, C. (2019) Analysis on the Relationship between Air Pollution Status and Meteorological Factors in Zhumadian City. *Meteorological and Environmental Research*, **10**, 20-26.
- [6] 杨袁慧. 空气污染天气过程与气象要素的关系研究[J]. 现代农业科技, 2019(22): 131-134.
- [7] 周颖, 向卫国. 四川盆地大气混合层高度特征及其与 AQI 的相关性分析[J]. 成都信息工程大学学报, 2018, 33(5): 562-571.
- [8] 毛维薇, 张甫仁. 大气混合层高度对通风及污染物扩散的影响[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2016, 33(6): 105-112.
- [9] 李振杰, 金莉莉等. 乌鲁木齐大气混合层厚度和稳定度与大气污染的关系[J]. 干旱区地理, 2019, 42(03): 478-491.
- [10] Zhang, W.G., Li, S.X., Wu, T.H. and Pang, Q.Q. (2007) Changes and Spatial Patterns of the Differences between Ground and Air Temperature over the Qinghai-Xizang Plateau. *Journal of Geographical Sciences*, **17**, 20-32. <https://doi.org/10.1007/s11442-007-0020-2>
- [11] 廖要明, 陈德亮, 等. 中国地气温差时空分布及变化趋势[J]. 气候变化研究进展, 2019, 15(4): 374-384.
- [12] 齐斐斐. 利用遥感数据研究塔克拉玛干沙漠地表能量通量分布变化规律[D]: [硕士学位论文]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2019.
- [13] 王健, 仝纪龙, 等. 东亚典型干旱、半干旱区夏季感热通量的年代际变化特征[J]. 干旱气象, 2018, 36(2): 203-211.
- [14] Davis, J.C., Collier, C.G., Davies, F. and Bozier, K.E. (2008) Spatial Variations of Sensible Heat Flux over an Urban Area Measured Using Doppler Lidar. *Meteorological Applications*, **15**, 367-380. <https://doi.org/10.1002/met.79>
- [15] 周连童, 温李明. 我国春夏季地气温差的时空变化特征及其与夏季降水的联系[J]. 气候与环境研究, 2016, 21(6): 621-632.
- [16] 刘颖, 徐祥德, 等. 春季地气温差与长江中下游夏季旱涝异常的相关[J]. 气象科技, 2009, 37(3): 301-305.
- [17] 郭一鸣, 蔺雪芹, 等. 中国城市群空气质量时空演化特征及其影响因素[J]. 生态经济, 2019, 35(11): 167-175.
- [18] 王敏, 冯相昭, 等. 黄河流域空气质量时空分布及影响因素分析[J]. 环境保护, 2019, 47(24): 56-61.

-
- [19] 黄小刚, 邵天杰, 等. 长江经济带空气质量时空分布特征及影响因素的季节差异[J/OL]. 中国环境科学, 2019, 1-11. <https://doi.org/10.19674/j.cnki.issn1000-6923.20191016.001>
- [20] 郑庆锋, 史军, 等. 上海地区 AQI 变化特征及与气象因素的相关性[J]. 气象与环境学报, 2019, 35(5): 53-62.
- [21] 杨孝文, 周颖, 等. 北京冬季一次重污染过程的污染特征及成因分析[J]. 中国环境科学, 2016, 36(3): 679-686.
- [22] Wang, H., *et al.* (2014) A Study of the Meteorological Causes of a Prolonged and Severe Haze Episode in January 2013 over Central-Eastern China. *Atmospheric Environment*, **98**, 146-157. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.08.053>