

2020年大气科学与环境健康交叉领域热点回眸

尹志聪^{1,2,3}, 李雨嫣¹, 段明铿¹, 王会军^{1,2,3*}

1. 南京信息工程大学大气科学学院, 气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 气象灾害教育部重点实验室, 南京 210044
2. 南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海), 珠海 519080
3. 中国科学院大气物理研究所竺可桢-南森国际研究中心, 北京 100029

摘要 2020年, 大气科学与环境保护、人群健康等研究领域产生了深度的交叉融合, 取得了一系列丰硕的研究成果。遴选了气候变化、新型冠状病毒肺炎疫情、大气污染、大范围野火和气候预测等研究热点, 回顾并点评了它们之间交叉融合产生的研究成果。

关键词 大气科学; 环境健康; 气候变化; 气候预测; 大气污染

2020年, 国家自然科学基金委员会正式成立交叉科学部, 推进学科交叉融合, 拓展了中国实现科技自立自强的途径。国家自然科学基金气候系统预测基础科学中心的成立将会在未来5~10年进一步促进大气科学学科的发展及其与环境、健康等相关学科之间的融合。由于学科特性, 大气科学极易与其他学科产生交叉, 激发出新的科学热点。比如天气气候、环境治理和人群健康的交叉融合在2020年就表现得尤为明显。2020年伊始, 新型冠状病毒肺炎(简称“新冠肺炎”)疫情悄然发生, 并迅

速席卷全球。新冠肺炎疫情不仅是公共卫生领域的“黑天鹅”事件, 还对气候变暖和大气污染产生了深刻影响。中国政府在第75届联合国大会上宣布力争于2030年前CO₂排放达到峰值的目标与努力争取于2060年前实现碳中和的愿景, 并在气候峰会上进一步宣布国家自主贡献最新举措。这会影 响全球环境保护和人群健康, 甚至影响大范围传染病传播的趋势。因此, 有必要对2020年大气科学与环境健康交叉领域的研究热点、进展和挑战进行系统地回顾。

收稿日期: 2020-12-28; 修回日期: 2021-01-04

基金项目: 国家重点研发专项(2016YFA0600703); 国家自然科学基金项目(41991283); 气象灾害预报预警与评估协同创新中心“天气条件对大规模流感病毒传播的影响”专项

作者简介: 尹志聪, 教授, 研究方向为大气复合污染(霾、臭氧)的气候变化机制和预测、短期气候预测, 电子信箱: yinzhc@163.com; 王会军(通信作者), 研究员, 中国科学院院士, 研究方向为气候模拟与气候变化、东亚季风气候变异及其预测, 电子信箱: wanghj@mail.iap.ac.cn

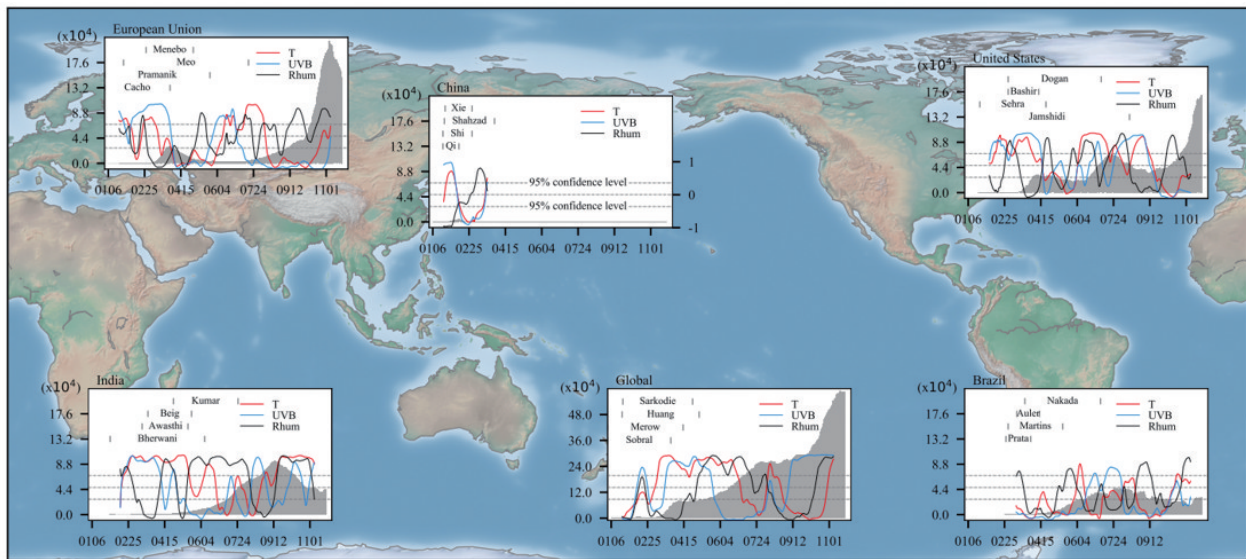
引用格式: 尹志聪, 李雨嫣, 段明铿, 等. 2020年大气科学与环境健康交叉领域热点回眸[J]. 科技导报, 2021, 39(1): 88-96; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2021.01.006

1 天气气候调控新冠肺炎疫情的暴发和传播

根据 World Health Organization 统计的数据(最后访问时间:2020-12-24),截至2020年12月,全球新冠肺炎疫情确诊病例已超过7000万^[1],给世界各国都造成了难以磨灭的影响。2003年,SARS(非典型肺炎)病毒的传播受到气象条件的显著影响,其消失也与夏季气温上升密切相关^[2]。新冠肺炎病毒和SARS病毒同属冠状病毒。在新冠肺炎疫情大爆发之后,社会各界都“期待”新冠肺炎病毒的传播也能复制SARS强烈的季节性特点,然而却并非如此。进入秋冬以来,全球多地新冠肺炎疫情反复,似乎又暗示了天气气候条件存在显著影响。

在全球平均的角度上,1~5月确诊病例中有约60%发生在温度5~15°C时,73.8%的确诊病例集中在绝对湿度为3~10 g/m³的区域^[3]。也有研究指出,温暖的天气可以降低病毒活性、增强人体免疫力,降低确诊人数和死亡率^[4-5]。潮湿的天气可能会影响空气中病毒的传输,进而降低确诊病例和死亡率,并提高康复率^[4,6]。但对受疫情影响的最热和最冷的10个国家进行分析却发现温暖干燥的环境

对应于较低的新增病例和死亡率^[7],表明疫情与湿度的关系存在一定的不确定性(图1)。紫外线能有效灭活较大的冠状病毒、增强人体免疫力,进而降低新冠病例的发生率^[8]。Merow和Urban^[9]认为在没有社会干预的情况下,高温与新冠肺炎病例增速的关系也受制于是否考虑紫外线的影响。单独考虑日平均温度的作用时,高温有利于新冠肺炎病例增长率降低,但考虑紫外线的共同影响后,温度升高却会导致增长率升高。当分区域进行研究时,天气气候对新冠肺炎影响的不确定性变得更为明显(图1)。有研究指出当平均温度超过10°C时,欧洲大部分国家的确诊病例急剧下降^[10]。但另一项针对欧洲的研究结果却表明,温度升高与每日确诊病例和死亡病例的增加有关^[11-12]。同样在热带,每升高1°C,巴西地区新冠肺炎累积确诊病例数就会减少4.9%^[13],而温度升高却有利于印度的新冠肺炎传播^[14]。对美国来说,随着温度升高,确诊人数明显降低^[15-16]。当研究时段延长后,气象要素的重要性逐渐减弱,温度和湿度对1~8月确诊病例变化的贡献甚至不超过3%^[17]。除了温度、湿度和紫外线,降雨、昼夜温差、云量和风速等也被认为是可能影响新冠肺炎病毒暴发和传播的因素^[4,18-24]。



注:红色线条为温度;蓝色线条为紫外线;黑色线条为相对湿度;灰色阴影为新增病例人数(单位:万人)

新增确诊病例经过7天滑动平均,国家/地区的部分代表性文献关注的时间段(起始和截止时间)用灰色短线标注在图中
图1 全球和5个代表性国家/地区每日新增病例及其与温度、紫外线、相对湿度之间的31天滑动相关系数

在中国,当温度低于 3°C 时,温度升高将造成确诊病例增加^[25]。但温度在 $8\sim 10^{\circ}\text{C}$ 以上时,温度的升高却有助于降低新冠肺炎感染率^[26]。针对不同省份的研究结果也存在一定差异,比如湖南和安徽温暖的环境会导致确诊病例升高,但浙江和山东温度升高能抑制新冠肺炎疫情的传播^[27]。有学者认为湖北较早的限行措施为挖掘气象因素对新冠肺炎传播的真实(无混淆)影响提供了最优场景,并指出温暖潮湿的环境有利于确诊人数减少,而低温潮湿的空气使鼻粘膜易于破裂,为病毒入侵提供了机会^[28]。中国的确诊病例大多集中于3月之前(图1),所以有研究认为温度升高对中国新冠肺炎传播的强烈抑制作用可能来源于早期干预措施^[9]。同时,许多季节性显著地区(美国、俄罗斯等)或气候炎热地区(例如阿拉伯半岛)的疫情在7月上旬达到第1次顶峰也可能导致出现虚假的温度升高有利于新冠肺炎传播的统计关系^[29]。此外,数据分批填报、集中核酸检测等因素可能会造成数据的短时波动,比如美国的确诊病例呈现出虚假的周振荡^[30],会对高频关系的研究带来显著的影响。由此可知,区域差异、时段差异和社会干预等因素既可能掩盖气象要素对新冠肺炎疫情暴发和传播的影响,也有可能带来虚假的统计关系,这在图1给出的剧烈变化的31天滑动相关系数中有一定的表现。因此,“天气气候条件对新冠肺炎疫情的影响”这一科学问题不仅是2020年的科学热点,还需要进一步运用统计诊断、信号分析和数值模拟等方法开展综合研究。

2 新冠肺炎疫情对气候变化和大气污染的影响

席卷全球的新冠肺炎疫情造成了社会停摆、经济衰退,但是仅在疫情初期出现全球温室气体浓度暂时下降。实际上,在20世纪的几次全球危机事件(如第一和第二石油危机、全球金融危机等)之后,温室气体浓度都出现了短暂下降,但随后都急剧升高^[31]。为了防止新冠肺炎疫情带来全球性衰退,各国政府都投入了大量的资金来刺激经济。从全球的制造业采购经理人指数来看,虽然增速有所

波动,但是全球经济一直保持着复苏的态势(图2)。中国的制造业采购经理人指数在2020年4月已经恢复到50%以上,并于11月升至年内高点(图2)。经济的恢复对于遏制新冠肺炎疫情的不利影响有显著作用,但同时也会带来人为排放的温室气体增加。2020年下半年,大气中的温室气体浓度已经达到创纪录水平并保持了继续上升的趋势,全球气候变化没有因为新冠肺炎疫情而止步^[32]。除了影响温室气体浓度之外,新冠肺炎疫情对气候变化治理的长效不利影响还包括:联合国气候大会延迟、美国退出巴黎协定、新能源投资减少、以及科学研究停滞等。当然,也有一些伴随的有利影响在慢慢发生,比如生态系统恢复、更少的国际交通、以及更低碳的生活方式等(数据来源于Earth Institute at Columbia University^[33],最后访问时间:2020-12-24)。在对气候异常的快速影响方面,Yang等^[34]的数值模拟研究指出新冠肺炎疫情仅会导致1~3月地面气温升高 $0.05\sim 0.15\text{K}$ (中国东部), $0.04\sim 0.07\text{K}$ (欧洲和美国),这主要是由于气溶胶排放减少导致的。需注意的是,已有的关于新冠疫情对气候变化影响的研究成果大部分都是初步的、定性的,需要进一步检验和量化。

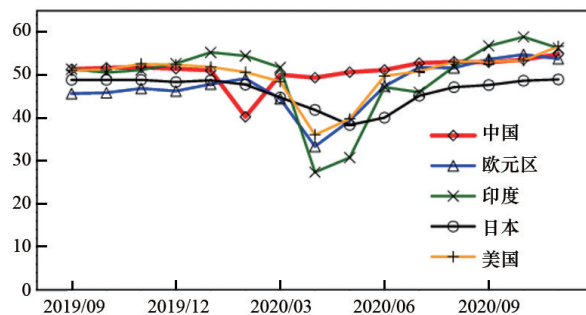
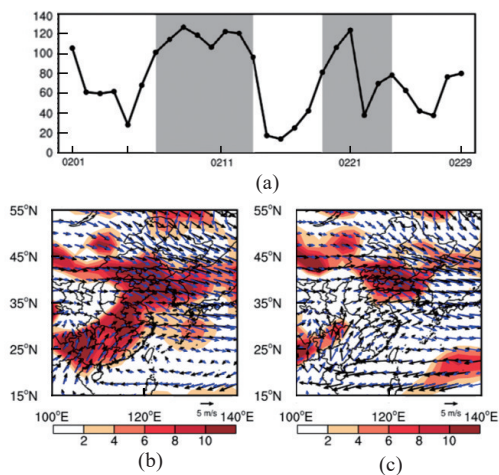


图2 2019年9月至2020年11月中国(红)、欧元区(蓝)、印度(绿)、日本(黑)和美国(黄)制造业采购经理人指数

为应对新冠肺炎疫情,中国采取了严格的隔离措施,关闭了大量的工厂和交通,也同时显著降低了一次污染物排放。通过与隔离前比较,武汉和其他城市隔离期间的 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度分别下降了 $1.4\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $18.9\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ^[35]。与2017年2月比,新冠肺炎疫情及隔离措施引起华北、长三角和湖北地区的 $\text{PM}_{2.5}$

浓度分别下降了59%、72%和26%^[36]。从量化评估的结果来看,PM_{2.5}浓度的下降幅度并没有如预期那么大,京津冀区域还是出现了几次严重的霾污染过程^[37]。这主要是因为增强的非均相化学反应、停滞的气象条件以及未减弱的电力供暖和医疗排放等因素综合作用的结果^[38](图3)。此外,新冠肺炎疫情隔离期间,氮氧化物排放降低、大气氧化性加强。由于NO对O₃的“滴定”效应,以及氮氧化物与挥发性有机物之间非线性响应,反而导致了东部臭氧浓度显著增加^[39](图3)。



注:(a) 2020年2月京津冀地区PM_{2.5}浓度逐日变化,阴影表示两次严重霾污染事件,(b) 2020年2月7日—2月14日和(c) 2020年2月19日—2月24日重霾污染过程期间850hPa风场(黑色箭头;单位:m/s)和气候平均值(蓝色箭头),以及地表相对湿度相对于气候平均值的距平(阴影;单位:%)

图3 2020年2月京津冀地区气候和PM_{2.5}浓度变化情况

3 天气气候对大气污染变化及治理的影响

“风来霾散”是过去几年中国东部人民的一条生活经验,也反映出气象条件变化对霾污染的显著影响。2012年之后,当出现静风、高湿天气时,大气中PM_{2.5}浓度就会迅速升高^[40]。在对“大气十条”的评估中,也发现2017年冬季气象条件在京津冀和长三角区域相较2013年分别转好约20%和30%,在两区域冬季PM_{2.5}分别约40.2%和38.2%的降幅中起到了明显的“助推”作用^[41]。前期秋季北极海冰、北太平洋海温以及欧亚大陆积雪的异常可

以在冬季激发出大气遥相关进而调控局地气象条件来影响霾污染的年际—年代际变化^[42]。此外,京津冀霾日数在2010年前后发生了趋势逆转,这也与前期强迫因子和关键局地气象条件的趋势变化密切相关。气候强迫和人为影响同向叠加是霾污染迅速加剧的重要因素之一^[43]。与PM_{2.5}不同,2014年之后中国东部O₃浓度处于上升态势^[44],引起社会各界的广泛关注。中国东部O₃浓度的主模态由南北差异型(2014—2016年)转变为南北一致型(2017—2020年),这与西太平洋副热带高压和东亚大槽的对峙方式有密切联系^[45]。晚春的北极海冰和欧亚大陆积雪异常也可以通过激发大气环流响应来调节臭氧污染的态势^[46, 47]。

新冠肺炎疫情隔离期间,中国的人为排放大幅度下降,但是并没有出现类似“APEC蓝”“国庆蓝”等明显的空气质量改善情况。即便是关闭了交通和大部分工厂,中国东部的居民生活、供暖和医疗等产生的人为排放依然接近或超过大气环境容量。2020年2月7—14日和2月19—24日,京津冀区域出现了静稳天气(南风、高湿),PM_{2.5}浓度有大幅度提升^[37](图3),导致2月平均的PM_{2.5}浓度相对于观测值有接近30%的提升^[36]。不利气象条件与化学过程的非线性相互作用在2020年初的大气污染过程中更为凸显,但是相关研究还没有一致性结论,需要进一步关注。此外,大气中细颗粒物浓度降低,会大幅提升大气透明度,增强的太阳辐射能够有效促进光化学反应,也在一定程度上导致了新冠肺炎疫情隔离期间近地面O₃浓度升高。此外,较高的PM_{2.5}浓度还能通过对HO₂自由基和NO_x的非均相吸收,抑制了臭氧的化学生成,并使臭氧对NO_x减排的敏感性降低^[48]。也就是说,PM_{2.5}与近地面O₃具有共同的前体物,在大气中通过多种途径可以相互影响。基于观测事实和科学认识,《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》明确提出:“强化多污染物协同控制和区域协同治理,加强细颗粒物和O₃协同控制。”这就要求控制好氮氧化物和挥发性有机物之间的减排比例,也要关注天气气候条件对PM_{2.5}与O₃协同治理的影响。

4 气候增暖是否会加剧北极野火, 释放北极病毒

2020年夏季,西伯利亚地区火灾发生的时间比往年提前了1个月左右,并且火势蔓延极快。随着气候变暖,冻土会加速融化,北极地区会变得更加容易受到野火侵袭。永久冻土层独特的环境中储存很多有数十万年历史、但依然有传染性的病毒^[49]。在全球变暖的背景下,北极大火肆虐,北极冻土正在快速融化,许多远古病毒可能会复活并重新暴露在空气中,对人类或动物健康产生严重威胁。有科学家分析了与西伯利亚东南部火灾相关的大尺度大气环流,发现当冬末出现正位相北极涛动的1~2个月之后,火灾面积会增加。在异常高压的控制下,冬末产生高温异常,导致冰雪提前融化,春季地表暴露较早,地表较为干燥,促进了火灾蔓延^[50]。此外,在气候变暖背景下,对流活动(往往伴有闪电)在高纬地区发生的频率将增加3倍,这可能会引发更多野火^[51]。相对于没有气候变化的情景,在过去几十年里气候变暖导致美国西部森林火灾面积几乎增加了2倍^[52]。Yasunari等^[53]发现在欧亚大陆东部发生的3次野火事件都伴随了异常的早融雪现象。2020年初,澳大利亚也发生了延续数月的野火,造成至少33人死亡,超10亿动物死亡,2500多间房屋和1170万公顷土地被烧毁。在南半球春季,平流层极涡的减弱和变暖,极大地增加了澳大利亚东部和南部出现炎热干燥天气以及野火的可能性^[54-55]。

泥炭地闷烧是2020年北极大火成因中非常重要的一项。泥炭地是世界上含碳量最高的生态系统,其燃烧会向大气释放大量的碳,包括CO₂和CH₄^[56]。一项基于数值模拟的研究指出北极泥炭地最终可能会从碳的净吸收地转变为碳的净来源地,进一步加速气候变化^[57]。除了释放大量的温室气体,野火燃烧还产生大量气溶胶,既影响空气质量还会通过影响全球辐射平衡来影响全球气候。火灾气溶胶可以引起全球海洋区域表面潜热通量显著减少,导致全球降水减少^[58]。野火释放出大量的亚硝酸,促进了O₃的生成^[59]。通过比较受火灾影响

和不受火灾影响区域的O₃浓度差异,发现O₃生成量随着烟羽年龄的增加而增加^[60]。另外,泥炭地的燃烧还直接导致了区域性的霾污染事件,降低该地区的空气质量^[61]。

5 气候预测向大气污染和新冠肺炎疫情预测延伸

在1周以内的大气污染天气预报技术已经比较成熟的现状下,应当加强对冬季霾污染和夏季O₃污染的季节内一季节预测,为政府和社会提前制定能源计划、科学实施减排措施提供科学依据。国家自然科学基金气候系统预测基础科学中心的研究团队采用年际增量方法将霾日数变化中的社会经济分量先去除后引入,并从前期气候因子(海冰、海温和积雪等)中提取预测信号,建立了冬季霾污染的气候预测模型^[62]。2016年开始,针对中国东部冬季霾污染开展实时气候预测,预测性能良好^[63]。2020年,该团队又针对影响夏季O₃的气候条件开展预测研究,建立了统计—动力相结合的预测方法,距平同号率达到94%^[64]。

兰州大学的研究团队将统计—动力天气预报的先进技术与流行病模型相结合,综合考虑了当地的温度、湿度等气象条件以及疫情防控措施等关键因素对病毒传播的影响,建立了新冠肺炎疫情预测系统^[65]。预测疾病传播的模型通常会依赖于数百个参数,这就会引入很大的不确定性。有研究认为应该从气候预测模式中学习多模式集合或参数化扰动等方案来得到概率化的流行病预测结果^[66]。

6 结论

学科交叉既是产生高水平创新成果的重要途径,也是解决国家重大科技需求的重要基石。在“百年未有之大变局”背景下,2020年大气科学与环境健康交叉领域产生了很多有意义的研究成果,但是必须指出的是其中一部分研究成果还比较初步,需要进一步的研究。尤其是随着新冠肺炎疫情的持续蔓延,一些初期的相关研究结论也在不断地被更新。

2012年之后,中国东部的人为排放产生了巨大变化,这对大气污染的变化特征和生成机制都产生了一定的影响。防治空气污染和应对气候变化应当协同行动,同时有效减少大气污染物和温室气体排放,为建设“美丽中国”带来综合收益。此外,想预测未来的气候变化、大气污染和流行病情况,需要将大气科学、环境科学、流行病学,以及物理学、化学、地理学、天文学,甚至人类学、社会学等多种学科交叉在一起,共同着手分析研究。

参考文献(References)

- [1] World Health Organization. WHO coronavirus disease (COVID-19) dashboard[EB/OL]. (2020-12-24). <https://covid19.who.int/>.
- [2] Stadler K, Masignani V, Eickmann M, et al. SARS-begins to understand a new virus[J]. *Nature Reviews Microbiology*, 2003, 1(3): 209-218.
- [3] Huang Z, Huang J, Gu Q, et al. Optimal temperature zone for the dispersal of COVID-19[J]. *Science of The Total Environment*, 2020, 736: 139487.
- [4] Sarkodie S A, Owusu P A. Impact of meteorological factors on COVID-19 pandemic: Evidence from top 20 countries with confirmed cases[J]. *Environmental Research*, 2020, 191: 110101.
- [5] Sobral M F F, Duarte G B, da Penha Sobral A I G, et al. Association between climate variables and global transmission of SARS-CoV-2[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 729: 138997.
- [6] Wu Y, Jing W, Liu J, et al. Effects of temperature and humidity on the daily new cases and new deaths of COVID-19 in 166 countries[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 729: 139051.
- [7] Meo S A, Abukhalaf A A, Alomar A A, et al. Climate and COVID-19 pandemic effect of heat and humidity on the incidence and mortality in world's top ten hottest and top ten coldest countries[J]. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, 2020, 24(15): 8232-8238.
- [8] Cacho P M, Hernandez J L, Lopez-Hoyos M, et al. Can climatic factors explain the differences in COVID-19 incidence and severity across the Spanish regions?: An ecological study[J]. *Environ Health*, 2020, doi: 10.1186/s12940-020-00660-4.
- [9] Merow C, Urban M C. Seasonality and uncertainty in global COVID-19 growth rates[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2020, doi: 10.1073/pnas.2008590117.
- [10] Pramanik M, Chowdhury K, Rana M J, et al. Climatic influence on the magnitude of COVID-19 outbreak: a stochastic model-based global analysis[J]. *International Journal of Environmental Health Research*, 2020, doi: 10.1080/09603123.2020.1831446.
- [11] Menebo M M. Temperature and precipitation associated with Covid-19 new daily cases: A correlation study between weather and Covid-19 pandemic in Oslo, Norway [J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 737: 139659.
- [12] Meo S A, Abukhalaf A A, Alomar A A, et al. Effect of heat and humidity on the incidence and mortality due to COVID-19 pandemic in European countries[J]. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, 2020, 24: 9216-9225.
- [13] Prata D N, Rodrigues W, Bermejo P H. Temperature significantly changes COVID-19 transmission in (sub)tropical cities of Brazil[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 729: 138862.
- [14] Kumar G, and Kumar R R. A correlation study between meteorological parameters and COVID-19 pandemic in Mumbai, India[J]. *Diabetology and Metabolic Syndrome*, 2020, 14(6): 1735-1742.
- [15] Dogan B, Ben Jebli M, Shahzad K, et al. Investigating the effects of meteorological parameters on COVID-19: Case study of New Jersey, United States[J]. *Environmental Research*, 2020, 191: 110148.
- [16] Sehra S T, Saliccioli J D, Wiebe D J, et al. Maximum daily temperature, precipitation, ultraviolet light, and rates of transmission of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 in the United States[J]. *Clinical Infectious Diseases*, 2020, 71(9): 2482-2487.
- [17] Jamshidi S, Baniasad M, Niyogi D. Global to USA county scale analysis of weather, urban density, mobility, homestay, and mask use on COVID-19[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, doi: 10.3390/ijerph17217847.
- [18] Auler A C, Cássaro F A M, da Silva V O, et al. Evidence that high temperatures and intermediate relative humidity might favor the spread of COVID-19 in tropical climate: A case study for the most affected Brazilian cities[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 729: 139090.

- [19] Awasthi A, Sharma A, Kaur P, et al. Statistical interpretation of environmental influencing parameters on COVID-19 during the lockdown in Delhi, India[J]. *Environment, Development and Sustainability*, 2020, doi: 10.1007/s10668-020-01000-9.
- [20] Bashir M F, Ma B, Bilal, et al. Correlation between climate indicators and COVID-19 pandemic in New York, USA[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 728: 138835
- [21] Beig G, Bano S, Sahu S K, et al. COVID-19 and environmental -weather markers: Unfolding baseline levels and veracity of linkages in tropical India[J]. *Environmental Research*, 2020, 191: 110121.
- [22] Bherwani H, Gupta A, Anjum S, et al. Exploring dependence of COVID-19 on environmental factors and spread prediction in India[J]. *Climate and Atmospheric Science*, 2020, doi: 10.1038/s41612-020-00142-x.
- [23] Martins L D, da Silva I, Batista W V, et al. How socio-economic and atmospheric variables impact COVID-19 and influenza outbreaks in tropical and subtropical regions of Brazil[J]. *Environmental Research*, 2020: 110184.
- [24] Nakada L Y K, Urban R C. COVID-19 pandemic: environmental and social factors influencing the spread of SARS-CoV-2 in Sao Paulo, Brazil[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, doi: 10.1007/s11356-020-10930-w.
- [25] Xie J, Zhu Y. Association between ambient temperature and COVID-19 infection in 122 cities from China[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 724: 138201.
- [26] Shi P, Dong Y, Yan H, et al. Impact of temperature on the dynamics of the COVID-19 outbreak in China[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 728: 138890.
- [27] Shahzad F, Shahzad U, Fareed Z, et al. Asymmetric nexus between temperature and COVID-19 in the top ten affected provinces of China: A current application of quantile-on-quantile approach[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 736: 139115.
- [28] Qi H, Xiao S, Shi R, et al. COVID-19 transmission in Mainland China is associated with temperature and humidity: A time-series analysis[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 728: 138778.
- [29] Fazzini M, Baresi C, Bisci C, et al. Preliminary analysis of relationships between COVID19 and climate, Morphology, and Urbanization in the Lombardy Region (Northern Italy)[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, doi: 10.3390/ijerph17196955.
- [30] Bergman A, Sella Y, Agre P, et al. Oscillations in U.S. COVID-19 incidence and mortality data reflect diagnostic and reporting factors[J]. *mSystems*, 2020, 5(4): e00544-20.
- [31] Hanna R, Xu Y, Victor D G. After COVID-19, green investment must deliver jobs to get political traction[N]. *nature*, 2020, 582: 178-180.
- [32] World Meteorological Organization. United In Science 2020[R]. Switzerland: World Meteorological Organization, 2020.
- [33] Earth Institute at Columbia University. COVID-19's long-term effects on climate change—for better or worse [EB/OL]. [2020-12-20]. <https://phys.org/news/2020-06-covid-long-term-effects-climate-changefor.html>.
- [34] Yang Y, Ren L L, Li H M, et al. Fast climate responses to aerosol emission reductions during the COVID-19 pandemic[J]. *Geophysical Research Letters*, 2020, 47(19): e2020GL089788.
- [35] Chen K, Wang M, Huang C, et al. Air pollution reduction and mortality benefit during the COVID-19 outbreak in China[J]. *The Lancet Planetary Health*, 2020, 4(6): e210-e212.
- [36] Yin Z C, Zhang Y J, Wang H J, et al. Evident PM2.5 drops in the east of China due to the COVID-19 quarantines in February[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2021, doi: 10.5194/acp-2020-695.
- [37] Wang P, Chen K, Zhu S, et al. Severe air pollution events not avoided by reduced anthropogenic activities during COVID-19 outbreak[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2020, 158: 104814.
- [38] Le T H, Wang Y, Liu L, et al. Unexpected air pollution with marked emission reductions during the COVID-19 outbreak in China[J]. *Science*, 2020, 369(6504): 702-706.
- [39] Huang X, Ding A, Gao J, et al. Enhanced secondary pollution offset reduction of primary emissions during COVID-19 lockdown in China[J]. *National Science Review*, 2020, doi: 10.1093/nsr/nwaa137.
- [40] Huang X, Wang Z, Ding A. Impact of Aerosol-PBL interaction on haze pollution: Multiyear observational evidences in North China[J]. *Geophysical Research Letters*, 2018, 45(16): 8596-8603.
- [41] 张小曳, 徐祥德, 丁一汇, 等. 2013~2017年气象条件变化对中国重点地区PM2.5质量浓度下降的影响[J]. 中

- 国科学: 地球科学, 2020, 50(4): 483–500.
- [42] Yin Z C, Zhou B T, Chen H P, et al. Synergetic impacts of precursory climate drivers on interannual–decadal variations in haze pollution in North China: A review[J]. *Science of the Total Environment*, 2020: 143017.
- [43] Zhang Y, Yin Z, Wang H. Roles of climate variability on the rapid increases of early winter haze pollution in North China after 2010[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2020, 20(20): 12211–12221.
- [44] 中国环境科学学会臭氧污染控制专业委员会. 中国大气臭氧污染防治蓝皮书(2020年)[R]. 中国环境科学学会臭氧污染控制专业委员会, 2020.
- [45] Yin Z C, Ma X Q. Meteorological conditions contributed to changes in dominant patterns of summer ozone pollution in Eastern China[J]. *Environmental Research Letters*, 2020, 15(12): 124062.
- [46] Yin Z C, Wan Y, Wang H J. Decadal changes of connections among snow cover in West Siberia, Eurasia teleconnection and O₃ pollution in North China[Z]. In Review, 2020, 6.
- [47] Yin Z C, Wang H J, Li Y Y, et al. Links of climate variability in Arctic sea ice, Eurasian teleconnection pattern and summer surface ozone pollution in North China[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2019, 19(6): 3857–3871.
- [48] Li K, Jacob D J, Liao H, et al. A two–pollutant strategy for improving ozone and particulate air quality in China [J]. *Nature Geoscience*, 2019, 12(11): 906–910.
- [49] Malavin S, Shmakova L, Claverie J M, et al. Frozen Zoo: A collection of permafrost samples containing viable protists and their viruses[J]. *Biodiversity Data Journal*, 2020, 8: e51586.
- [50] Kim J S, Kug J S, Jeong S J, et al. Extensive fires in southeastern Siberian permafrost linked to preceding Arctic Oscillation[J]. *Science Advances*, 2020, 6: eaax3308
- [51] Poujol B, Prein A F, Newman A J. Kilometer–scale modeling projects a tripling of Alaskan convective storms in future climate[J]. *Climate Dynamics*, 2020, 55: 3543–3564.
- [52] Abatzoglou J T, Williams A P. Impact of anthropogenic climate change on wildfire across western US forests[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2016, 113(42): 11770–11775.
- [53] Yasunari T J, Kim K M, da Silva A M, et al. Extreme air pollution events in Hokkaido, Japan, traced back to early snowmelt and large–scale wildfires over East Eurasia: Case studies[J]. *Scientific Reports*, 2018, 8(1): 6413.
- [54] Lim E–P, Hendon H H, Boschhat G, et al. Australian hot and dry extremes induced by weakenings of the stratospheric polar vortex[J]. *Nature Geoscience*, 2019, 12(11): 896–901.
- [55] Wang L, Hardiman S C, Bett P E, et al. What chance of a sudden stratospheric warming in the southern hemisphere? [J]. *Environmental Research Letters*, 2020, 15(10): 104038.
- [56] Voigt C, Marushchak M E, Mastepanov M, et al. Ecosystem carbon response of an Arctic peatland to simulated permafrost thaw[J]. *Global Change Biology*, 2019, 25(5): 1746–1764.
- [57] Hugelius G, Loisel J, Chadburn S, et al. Large stocks of peatland carbon and nitrogen are vulnerable to permafrost thaw[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2020, 117(34): 20438–20446.
- [58] Jiang Y, Yang X–Q, Liu X, et al. Impacts of wildfire aerosols on global energy budget and climate: The role of climate feedbacks[J]. *Journal of Climate*, 2020, 33(8): 3351–3366.
- [59] Theys N, Volkamer R, Müller J F, et al. Global nitrous acid emissions and levels of regional oxidants enhanced by wildfires[J]. *Nature Geoscience*, 2020, 13(10): 681–686.
- [60] Moeini O, Tarasick D W, McElroy C T, et al. Estimating wildfire–generated ozone over North America using ozonesonde profiles and a differential back trajectory technique[J]. *Atmospheric Environment*, 2020, 7: 100078.
- [61] Hu Y, Fernandez–Anez N, Smith T E L, et al. Review of emissions from smouldering peat fires and their contribution to regional haze episodes[J]. *International Journal of Wildland Fire*, 2018, 27(5): 293, doi: 10.1071/wf17084.
- [62] Yin Z C, Wang H J. Seasonal prediction of winter haze days in the north central North China Plain[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2016, 16(23): 14843–14852.
- [63] Yin Z C, Wang H J. Statistical prediction of winter haze days in the North China plain using the generalized additive model[J]. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 2017, 56(9): 2411–2419.
- [64] Yin Z C, Li Y Y, Cao B F. Seasonal prediction of surface O₃–related meteorological conditions in summer in

- North China[J]. Atmospheric Research, 2020, 246: 105110. doi: 10.1016/j.scib.2020.08.002.
- [65] Huang J, Zhang L, Liu X, et al. Global prediction system for COVID-19 pandemic[J]. Science Bulletin, 2020, 587: 533–534.
- [66] Adam D. Simulating the pandemic: What COVID forecasters can learn from climate models[J]. Nature, 2020, 587: 533–534.

Hotspots of interdisciplinary researches in atmospheric, environmental, and medical sciences in 2020

YIN Zhicong^{1,2,3}, LI Yuyan¹, DUAN Mingkeng¹, WANG Huijun^{1,2,3*}

1. Key Laboratory of Meteorological Disaster, Ministry of Education/Joint International Research Laboratory of Climate and Environment Change (ILCEC)/Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters (CIC-FEMD), Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China
2. Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory (Zhuhai), Zhuhai 519080, China
3. Nansen-Zhu International Research Centre, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

Abstract In 2020, atmospheric science underwent deep cross integrations with environmental protection and medical sciences. A series of research results were achieved. This paper introduces the research focuses such as climate change, COVID-19 pandemic, air pollution, large-scale wildfires and climate prediction, and reviews their interdisciplinary results.

Keywords atmospheric sciences; environmental health; climate change; climate prediction; air pollution ●



(责任编辑 祝叶华)