

DOI: 10.7524/j.issn.0254-6108.2020042301

任梦圆, 陈俊熹, 巴哈白克·江吐鲁, 等. 环境温湿度对新型冠状病毒传播影响研究的现状及展望[J]. 环境化学, 2020, 39(6): 1473-1478.
REN Mengyuan, CHEN Junxi, JIANGTULU Bahabaike, et al. Status and perspectives on the study about the associations of environmental temperature and humidity with COVID-19 transmission[J]. Environmental Chemistry, 2020, 39(6): 1473-1478.

环境温湿度对新型冠状病毒传播影响研究的现状及展望*

任梦圆^{1,2} 陈俊熹^{1,2} 巴哈白克·江吐鲁^{1,2} 贾晓倩^{1,2} 兰场新^{1,2}
李泽武^{1,2} 张乐^{1,2} 叶荣伟^{1,2} 李智文^{1,2} 王斌^{1,2**}

(1. 北京大学生育健康研究所/国家卫生健康委员会生育健康重点实验室, 北京, 100191;

2. 北京大学公共卫生学院流行病学与卫生统计学系, 北京, 100191)

摘要 新型冠状病毒感染所导致的疾病已造成全球大流行,是当前全球重大公共卫生问题。目前,疫情的重灾区主要集中在北半球,南半球开始有明显的增加趋势。随着北半球夏季的来临,环境温湿度变化对病毒传播的影响逐渐受到广泛关注。已有若干研究从不同角度出發,探究环境温湿度与新型冠状病毒传播的关系。本文通过总结相关主要研究,总结目前研究的进展及有待完善之处,为今后相关工作的深入开展提供建议。

关键词 新型冠状病毒疾病, 新冠病毒, 温度, 湿度, 传播。

Status and perspectives on the study about the associations of environmental temperature and humidity with COVID-19 transmission

REN Mengyuan^{1,2} CHEN Junxi^{1,2} JIANGTULU Bahabaike^{1,2} JIA Xiaoqian^{1,2}
LAN Changxin^{1,2} LI Zewu^{1,2} ZHANG Le^{1,2} YE Rongwei^{1,2} LI Zhiwen^{1,2} WANG Bin^{1,2**}

(1. Institute of Reproductive and Child Health, Peking University/Key Laboratory of Reproductive Health,

National Health Commission of the People's Republic of China, Beijing, 100191, China;

2. Department of Epidemiology and Biostatistics, School of Public Health, Peking University, Beijing, 100191, China)

Abstract: Coronavirus disease 2019 (COVID-19) caused by severe acute respiratory syndrome coronavirus-2 (SARS-CoV-2) has led to a pandemic around the world, which has been the most important global public health issue. So far, the northern hemisphere has become the center of epidemic and there is an increasing trend in the southern hemisphere. With the coming of summer season in the northern hemisphere, the potential effect of environmental temperature and humidity on the transmission rate of COVID-19 has been attracting worldwide public attention, and several related studies have been published. Our study summarized these studies by focusing on their strengths and limitations to provide some inspirations for future studies.

Keywords: COVID-19, SARS-CoV-2, temperature, humidity, transmission.

目前,由新型冠状病毒(SARS-CoV-2,简称“新冠病毒”)感染所导致的疾病(COVID-19),已在全世界以世所罕见的速度与规模进行大范围传播。2020年3月11日,世界卫生组织宣布COVID-19疫情为全球大流行。截至2020年6月8日,全球已有215个国家或地区发现COVID-19确诊病例,共累计确诊病

2020年4月23日收稿(Received: April 23, 2020).

* 国家自然科学基金(41771527, 81673177)资助。

Supported by the National Natural Science Foundation of China (41771527, 81673177).

** 通讯联系人, Tel: 13681489345; E-mail: binwangpku@foxmail.com

Corresponding author, Tel: 13681489345; E-mail: binwangpku@foxmail.com

例约 700 万人, 累计死亡 40 万人^[1]. 因此, 探究影响新冠病毒传播的因素已成为学界的研究重点问题之一. 我国国家卫生健康委员会办公厅(简称“国家卫健委”) 在印发的《新型冠状病毒防控指南(第六版)》指南中指出, 新冠病毒的主要传播方式为与患者密切接触以及经呼吸道飞沫传播, 在相对封闭的环境中长时间暴露于高浓度气溶胶情况下, 存在经气溶胶传播的可能^[2]. 这得到相关研究结果的有力支持^[3], 对于动员整个社会做好隔离工作, 以降低 COVID-19 大范围传播具有重要作用^[4]. 目前, 新冠病毒疫情主要发生在北半球. 随着北半球即将进入夏季, 南半球进入冬季, 这种季节交替所带来的环境温度和湿度的变化对于病毒传播的影响逐渐受到关注. 2003 年, 随着夏季的高温高湿环境的到来, 非典病毒(SARS-CoV-1) 所引起的疫情被成功“扑灭”, 由此被怀疑温度可能是非典疫情结束的重要影响因素, 但关于这个话题一直存在争议. 目前, 对于高温高湿环境是否同样能够抑制 COVID-19 的传播, 仍然没有一个确定的结论. 本文通过梳理已发表的经同行评审和未经同行评审的预印版论文, 总结了环境温湿度对新冠病毒传播影响的相关研究结果, 讨论现有研究的进展与不足之处, 为未来的相关研究提供参考

1 新冠病毒的感染途径 Transmission pathways of COVID-19

Zhou 等研究发现, 新冠病毒与 SARS-CoV-1 的基因组序列相似性可达 79.6%^[5]. 与其他冠状病毒类似, 新冠病毒主要通过呼吸道飞沫以及与感染者直接接触实现在人群中的传播^[2]. 关于新冠病毒是否可能通过气溶胶传播受到广泛的社会讨论, 但至今为止未有研究从普通生活场景空气采样中分离出活的新冠病毒, 缺失最关键的证据. 研究人员虽在 COVID-19 患者粪便中检测到病毒的存在^[3, 6], 但尚未有证据证实新冠病毒可经粪口传播. 与 SARS-CoV-1 相比, 新冠病毒具有更长的潜伏期^[7], 且处于潜伏期的部分患者就已经具有传染性^[8]. 因此, 与以往的冠状病毒相比, 新冠病毒更容易在人群中产生大规模的传播, 给防疫工作带来了更大的挑战. 由于大部分流感病毒传播具有一定季节性^[9], 因此关于新冠病毒传播是否受到季节性温湿度的变化影响成为全球关注的热点.

2 温湿度对病毒耐受性的影响 The influence of temperature and humidity on the viability of SARS-CoV-2

研究表明, 多种流感病毒(如 H1N1 和 H7N9 病毒)的传播, 在很大程度上依赖于季节, 即在低温干燥的冬季时爆发流行^[9]. 由此推测, 温湿度等气象因素在这些病毒传播过程中可能发挥了重要作用. 其他冠状病毒的环境耐受实验结果提示, 温湿度可能影响病毒在环境中的存活时间. Chan 等通过实验发现, SARS-CoV-1 在温度范围 22—25℃、相对湿度范围 40%—50% 的光滑表面可持续存在 5 d, 但在高温(37℃)高湿(相对湿度 > 95%)条件下生存能力可大幅度下降^[10]. 同样, 中东呼吸综合征冠状病毒(MERS-CoV)也具有在高温高湿条件下生存能力大幅度下降的特征^[11]. 针对新冠病毒的最新研究发现, 它与其他冠状病毒具有相似的环境耐受性特征. Van Doremalen 等^[12]设计平行实验, 发现新冠病毒与 SARS-CoV-1 在多种给定的外部环境条件下均具有相似的存活能力; 新冠病毒在实验室模拟条件下生成的气溶胶中, 可稳定存在 3 h 以上, 且在塑料、不锈钢等光滑表面更容易存活. 香港大学的研究团队发现, SARS-CoV-2 可以在多种光滑表面持续生存 4 d 以上, 且发现病毒对环境温度敏感, 当温度为 4℃ 时病毒滴度水平高度稳定^[13]. 因此, 上述研究结果表明, 新冠病毒在一定的环境中可稳定存在数日, 环境温度的变化可影响病毒在外环境中的存活时间. 相对而言, 关于湿度的变化对新冠病毒活性影响的研究报道尚未检索到.

3 环境温湿度与新冠病毒传播的研究进展 Previous studies of environmental temperature and humidity on COVID-19 transmission

目前, 已有多项研究指出, 环境温湿度与 COVID-19 传播可能存在一定关联. 本文简要归纳了相关主要报道的研究设计及其主要结论, 详细内容见表 1. 这些工作在研究对象选择、暴露和结局指标定义、统计模型等方面各不相同. 一些研究者从宏观视角出发, 发现环境温湿度等气象条件与病毒的传播可能存在一定关联. Sajadi 等研究者将全球多个国家或地区的 COVID-19 确诊数与平均温度和湿度进行分析, 发现多数疫情严重的国家或地区大多处于北纬 30°—50°, 并且这些地区具有相似的气象特征, 即平均温度处于 5—11℃, 绝对湿度 4—7 g·m⁻³^[14].

表 1 既往关于环境温湿度与新冠病毒在人群中传播的相关研究总结
Table 1 Summary of studies about the associations of environmental temperature and humidity with COVID-19 transmission

研究论文 Studies	研究区域 Regions	温度指标 Temperature indicators	湿度指标 Humidity indicators	结局指标 Outcome indicators	主要统计方法 Statistical methods	混杂因素控制 Confounders	考虑地域差异 Heterogeneity between regions	考虑时间滞后 Consideration of lag effect of time	主要结论 Major conclusions
Shi et al. ^[15]	中国	每日温度	每日绝对湿度	各地区人群发病率	SEIR 模型; 非线性回归	无	否	是	温湿度与病毒传播呈非线性关系, 存在最佳传播温度 8—10 °C
Luo et al. ^[16]	中国	平均温度	平均绝对湿度	有效再生数	多重线性回归	无	否	否	温湿度对病毒传播的影响程度有限
Oliveiros et al. ^[17]	中国	平均温度	平均湿度	病毒倍增时间	多重线性回归	降雨量, 风速	否	否	温度与倍增时间正相关, 湿度与倍增时间负相关
AL-Rousan et al. ^[18]	中国	每日温度	每日相对湿度	每日累计确诊/死亡/治愈数	Pearson 相关	无	是	否	温湿度与病毒传播存在关联
Yao et al. ^[19]	中国	每日温度	—	累计发病率	线性回归	相对湿度, 紫外线	否	否	温度与病毒传播无关
Sajadi et al. ^[14]	全球	平均温度	平均绝对湿度	是否存在严重社区传播	组间比较	无	否	否	疫情严重的国家/地区主要分布在北纬 30—50°, 地区平均温度为 5—11 °C, 绝对湿度 4—7 g·m ⁻³
Islam et al. ^[20]	全球	每日最高温度	每日相对湿度	人群发病率	多水平混合效应负二项回归	时间趋势, 大气总臭氧密度, 降雨概率, 海平面气压, 日照时长	是	是	温度和相对湿度与 COVID-19 发生率负相关
Wang et al. ^[21]	全球	每日平均/最小/最大温度	—	累计发病人数	限制性立方样条回归; 线性混合效应模型	3 日后平均新增确诊人数	是	否	温度与病毒传播呈非线性关系, 温度达到 8.72 °C 时, 累计确诊病例数最多
Notani ^[22]	全球	平均温度	—	传播速率	线性回归	人口密度	否	否	温度与病毒传播呈非线性关系, 温度达到 9.5 °C 时, 传播速率最大
Jamil et al. ^[23]	全球	每日平均温度	—	传播速率, 基本再生数	非线性回归	无	是	否	温度与病毒传播无关

Shi 等对我国大陆 31 个省级地区进行研究发现,温度与 COVID-19 的人群发生率有关,但未发现绝对湿度与 COVID-19 发生率之间的关联^[15].该研究团队还指出,从理论出发,环境温湿度等气象条件可同时对病毒和宿主产生影响.而在该研究时间段内(2020 年 1 月 20 日至 2020 年 2 月 29 日),我国并未出现极端气候条件.因此,可以认为温湿度对宿主产生的影响相对较小,其主要通过影响 SARS-CoV-2 在环境中的生存,进而影响病毒在人群中的传播.

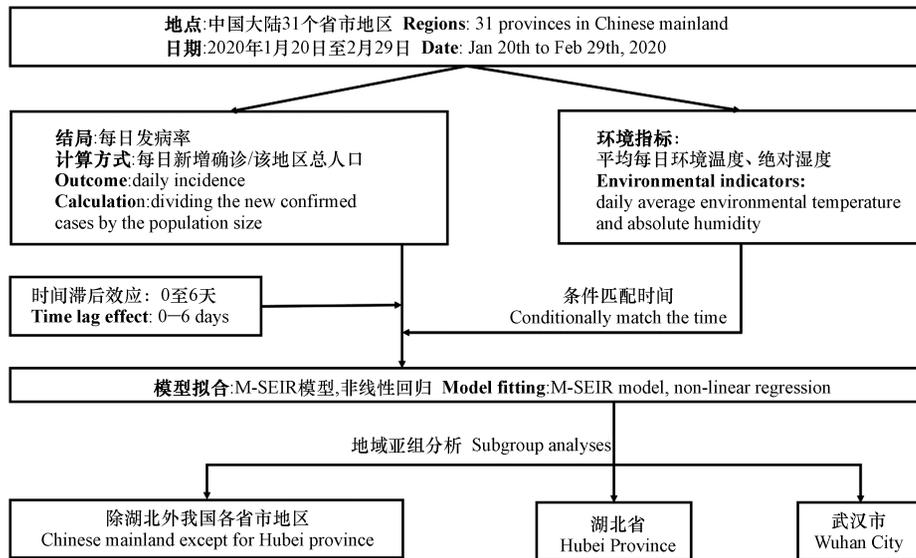


图 1 Shi 等研究者的研究整体设计框架

Fig.1 The study design framework in Shi et al.'s preprint article

Luo 等在对我国各省市以及周边国家/地区进行研究发现,环境温度与有效再生数的近似指标呈负相关,表明温度升高可能降低新冠病毒传播速率^[16].Oliveiros 等对我国 31 个省市自 2020 年 1 月 23 日至 3 月 1 日的每日累计确诊数据以及气象数据发现,温度与感染人群的倍增时间正相关,湿度与倍增时间负相关,表明高温与低湿环境可能有利于降低病毒的传播^[17].但上述研究均未考虑不同地区之间存在异质性,比如人口密度、人群流动情况、医疗资源供需水平、疫情防控政策执行情况等.这些因素又与病毒在人群中的传播速率密切相关,若不将其混杂效应进行控制,可能对研究结果产生较大影响.Islam 等对全球 116 个国家中的 310 个地区进行研究发现,采用了多水平混合效应负二项回归模型校正地域因素的干扰.在调整了发病时间趋势、地区臭氧密度、降水量、海平面气压、日照时间等因素后,发现温度每升高 5 °C, COVID-19 的调整发病率比减低至 0.94 ($P < 0.05$)^[20].此外,该研究还发现温度与传播风险增加之间的关联存在时间滞后效应,即在第 7 天,关联效应最强. Shi 等在其研究中指出,温湿度等气象因素在影响 COVID-19 在人群中传播的过程中具有时间滞后效应^[15].理论上,滞后时间由两部分组成,患者从被病毒感染到首次出现症状的时间(潜伏期)以及患者首次出现症状到被明确诊断为 COVID-19 患者的时间.钟南山院士所在团队在对 291 名具有完整信息的 COVID-19 确诊患者进行研究时,初步估计病人的潜伏期约为 4 d(四分位间距:2—7 d)^[7].考虑到温湿度变化对新冠病毒生存产生直接影响的可能性相对较大,应在研究中考考虑两者关系的滞后效应.

另外有研究指出,环境温湿度变化与新冠病毒在人群中的传播速率呈非线性关系.对湖北地区人群研究发现,温度变化与病毒传播呈“U”型关联,8—10 °C 可能是 SARS-CoV-2 在该地区传播的最佳温度^[15].Wang 等对全球范围内的 427 个城市地区进行研究,发现各地区研究时段的平均温度与累计确诊病例数之间存在关联,当平均温度为 8.72 °C 时,累计确诊病例数达到峰值.在低温地区,平均气温每升高 1 °C 将会使每个城市确诊病例数增加约 0.83;在高温地区,平均温度每升高 1 °C 将会使每个城市确诊病例数减少约 0.86^[21].Notari 等也发现,环境平均温度为 9.5 °C 时, SARS-CoV-2 的传播速率最大^[22].更重要的是,该研究进行了更加严格的数据筛选,只纳入了累计确诊病例数 ≥ 30 例的城市地区及对应的天

数,并且仅纳入疫情爆发后 12 d 的数据.该研究认为,在疫情的早期发展阶段,病毒处于自由传播的模式,确诊病例数增加随时间呈指数分布.并且,这种方法还可以有效避免其他人为因素(如防疫干预政策实施等)的干扰.

目前为止,关于环境温湿度与 COVID-19 传播速率的影响研究结果尚不一致.现有研究虽大多认为温度变化可一定程度上影响 COVID-19 在人群中的传播速率,但仍有研究认为目前的证据不能证明温度与 COVID-19 传播速率有关.Yao 等对我国 224 个城市的早期疫情数据建立回归模型发现,在控制了相对湿度与紫外线强度后,在温度范围在 $-17.8\text{—}22.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间,未发现当地平均温度与疫情传播速度的各项指标(比如,累计发病率和基本再生数)有关^[19].Jamil 等对自 2019 年 12 月 31 日至 2020 年 3 月 26 日全球范围内累计确诊数大于 100 的多个国家/地区进行研究发现,当平均温度范围处于 $-10\text{—}31\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间时,COVID-19 的传播速率与温度变化并无明显关联^[23],并认为北半球夏季的到来不会使疫情得以缓解.美国国家科学院近期也发布研究报告指出,虽然近期已有一些发表的论文结果提示季节因素可能缓解 COVID-19 疫情的发展,但若不能同时实施强力有效的公共卫生干预措施,仅依赖季节的变化(如温度升高)很难抑制疫情在人群中的扩散^[24].

目前有两篇针对环境湿度与 COVID-19 传播速率的研究结果都表明,湿度越大,病毒的传播速率可能越大^[16-17].但同时也有研究指出湿度与病毒传播速率不存在明显关联^[15].此外,近期发表在 JAMA 的一篇案例报道介绍了一起发生在我国江苏淮安的一间公共浴室聚集性病例事件^[25].该事件提醒病毒在实际环境高温($25\text{—}41\text{ }^{\circ}\text{C}$)和高湿(相对湿度约 60%)的环境下仍然可能实现人群间的传播,与大多数既往研究结论不一致.但该研究仅为一个案例报道,尚不能支持因果分析,仅作为案例参考.造成上述研究结论不一致的原因有很多,比如研究设计、研究对象纳入排除标准以及选择不同的统计分析方法,都会使研究结果出现差异.一些研究未考虑不同地区之间存在异质性^[15-17, 19-20, 23].本文以 Shi 等^[15]预印平台发表的文章为例,系统梳理了该论文整体设计框架,包括目标人群划定、暴露和结局指标定义以及相应的统计方法和分析策略,详细内容见图 1.该研究总体设计较为完善,同时考虑了地区间人口密度差异、环境温湿度对病毒传播的时间滞后效应以及非线性关系等因素,并且考虑地域间差异,将湖北省和武汉市分别作为亚组进行分析.但该研究未考虑其他环境气象因素以及人口迁徙等因素对结果的潜在影响,并且时间滞后窗口期略短,仍具有一定局限性.

此外,未考虑环境温湿度对病毒在人群中传播的时间滞后效应^[16-19, 22-23]、温湿度变化与病毒传播速率的非线性关系^[16-20],以及研究人群的人口流动情况.这些研究局限性可能使相关研究结论尚不足以支撑科学决策.更重要的是,目前尚未有研究对可能在疫情中发生的聚集性病例增加事件做出筛选、判断与处理.如仅 2020 年 2 月 20 日当日,山东任城监狱新增 COVID-19 确诊病例 200 人(网址:<https://www.yicai.com/news/100515523.html>),这些聚集性增加病例属“异常数据”,与研究问题无关,在分析时应予以剔除.若不对类似相关异常数据进行灵敏度分析,相关结论的可靠性也可能受到影响.

4 结论与展望 Conclusion and perspectives

总体来看,目前的研究结果提示环境温湿度等环境因素增加可能降低新冠病毒在人群中的传播速率,但并不是影响病毒传播的决定因素.夏季的到来可能在一定程度上延缓疫情的进一步恶化,但需要具体的干预措施才能有效控制新冠病毒的传播.由于目前的相关研究尚存在一定局限性,比如模型种类、目标人群、研究区域等选择的差异,可能导致研究结论尚不一致,有待于进一步完善.未来研究应在已有研究的基础上,优化研究设计,如:确定关注的研究对象(如针对我国各地区作为研究对象时,可选择 1 月 23 日武汉封城之后的数据,可减少因政策实施带来的影响)、在数据获取阶段清理“异常数据”、确定合适的暴露与结局指标、充分考虑环境温湿度对新冠病毒传播的时间滞后因素、选择合适的统计模型(如混合效应模型等)处理非线性关系以及城市间的随机效应,并对较为关键的混杂因素(如风速等其他环境气象因素、人群迁徙指标等)予以校正,以排除上述因素可能对研究结果产生干扰.

参考文献 (References)

- [1] WHO. Coronavirus disease (COVID-2019) situation reports[EB/OL]. [2020-06-08]. <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/situation-reports>.

- [2] 国家卫生健康委办公厅, 新型冠状病毒肺炎防控方案(第六版)[EB/OL]. [2020-04-10]. <http://www.nhc.gov.cn/jkj/s3577/202003/4856d5b0458141fa9f376853224d41d7.shtml>.
NATIONAL HEALTH AUTHORITY. Prevention and Control Programme for COVID-19 (The sixth edition) [EB/OL]. [2020-04-10]. <http://www.nhc.gov.cn/jkj/s3577/202003/4856d5b0458141fa9f376853224d41d7.shtml> (in Chinese).
- [3] ONG S W X, TAN Y K, CHIA P Y, et al. Air, surface environmental, and personal protective equipment contamination by Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) From a Symptomatic Patient[J]. *JAMA*, 2020, 323(16):1610-1612.
- [4] ANDERSON R M, HEESTERBEEK H, KLINKENBERG D, et al. How will country-based mitigation measures influence the course of the COVID-19 epidemic? [J]. *Lancet*, 2020, 395: 931-934.
- [5] ZHOU P, YANG X L, WANG X G, et al. A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin[J]. *Nature*, 2020, 579(7798): 270-273.
- [6] HOLSHUE M L, DEBOLT C, LINDQUIST S, et al. First case of 2019 Novel Coronavirus in the United States[J]. *New England Journal of Medicine*, 2020, 382: 929-936.
- [7] GUAN W J, NI Z Y, HU Y, et al. Clinical characteristics of coronavirus disease 2019 in China[J]. *New England Journal of Medicine*, 2020, 382: 1708-1720.
- [8] 高文静, 李立明, 新型冠状病毒肺炎潜伏期或隐性感染者传播研究进展[J]. *中华流行病学杂志*, 2020, 41(4): 485-488.
GAO W J, LI L M. Advances on presymptomatic or asymptomatic carrier transmission of COVID-19[J]. *Chinese Journal of Epidemiology*, 2020, 41(4): 485-488 (in Chinese).
- [9] PAULES C, SUBBARAO K, Influenza[J]. *Lancet*, 2017, 390(10095): 697-708.
- [10] CHAN K H, PEIRIS J S, LAM S Y, et al. The effects of temperature and relative humidity on the viability of the SARS Coronavirus[J]. *Adv Virol*, 2011, 2011: 734690.
- [11] VAN DOREMALEN N, BUSHMAKER T, MUNSTER V J. Stability of Middle East respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV) under different environmental conditions[J]. *Euro Surveill*, 2013, 18(38): 20590.
- [12] VAN DOREMALEN N, BUSHMAKER T, MORRIS D H, et al. Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1[J]. *New England Journal of Medicine*, 2020, 382(16):1564-1567.
- [13] CHIN A W H, CHU J T S, PERERA M R A, et al. Stability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions[J]. *The Lancet Microbe*, 2020, doi 10.1016/s2666-5247(20)30003-3.
- [14] SAJADI M M, HABIBZADEH P, VINTZILEOS A, et al. Temperature and latitude analysis to predict potential spread and seasonality for COVID-19[J]. SSRN, 2020 (preprint). [2020-04-10]. <https://ssrn.com/abstract=3550308>.
- [15] SHI P, DONG Y Q, YAN H C, et al. The impact of temperature and absolute humidity on the coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak - evidence from China[J]. medRxiv, 2020 (preprint). [2020-04-10]. <http://medrxiv.org/content/early/2020/03/24/2020.03.22.20038919.abstract>.
- [16] LUO W, MAJUMDER M S, LIU D, et al. The role of absolute humidity on transmission rates of the COVID-19 outbreak[J]. medRxiv, 2020 (preprint). [2020-04-10]. <http://medrxiv.org/content/early/2020/02/17/2020.02.12.20022467.abstract>.
- [17] OLIVEIROS B, CARAMELO L, FERREIRA N C, et al. Role of temperature and humidity in the modulation of the doubling time of COVID-19 cases[J]. medRxiv, 2020 (preprint). [2020-04-10]. <http://medrxiv.org/content/early/2020/03/08/2020.03.05.20031872.abstract>.
- [18] AL-ROUSAN N, AL-NAJJAR H. Nowcasting and forecasting the spreading of Novel Coronavirus 2019-nCoV and its association with weather variables in 30 Chinese Provinces: A Case Study [J]. SSRN, 2020 (preprint). [2020-04-10]. <https://ssrn.com/abstract=3537084>.
- [19] YAO Y, PAN J, LIU Z, et al. No association of COVID-19 transmission with temperature or UV radiation in Chinese cities[J]. *European Respiratory Journal*, 2020, 55(5): 2000517.
- [20] ISLAM N, SHABNAM S, ERZURUMLUOGLU A M. Temperature, humidity, and wind speed are associated with lower Covid-19 incidence [J]. medRxiv, 2020 (preprint). [2020-04-10]. <http://medrxiv.org/content/early/2020/03/31/2020.03.27.20045658.abstract>.
- [21] WANG M, JIANG A, GONG L, et al. Temperature significant change COVID-19 Transmission in 429 cities [J]. medRxiv, 2020 (preprint). [2020-04-10]. <http://medrxiv.org/content/early/2020/02/25/2020.02.22.20025791.abstract>.
- [22] NOTARI, A. Temperature dependence of COVID-19 transmission [J]. medRxiv, 2020 (preprint). [2020-04-10]. <http://medrxiv.org/content/early/2020/04/07/2020.03.26.20044529.abstract>.
- [23] JAMIL T, ALAM I S, GOJOBORI T, et al. No Evidence for Temperature-Dependence of the COVID-19 Epidemic [J]. medRxiv, 2020 (preprint). [2020-04-10]. <http://medrxiv.org/content/early/2020/03/31/2020.03.29.20046706.abstract>.
- [24] NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING AND MEDICINE. Rapid expert consultation on SARS-CoV-2 survival in relation to temperature and humidity and potential for seasonality for the COVID-19 pandemic (April 7, 2020) [EB/OL]. [2020-04-10]. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25771>.
- [25] LUO C, YAO L, ZHANG L, et al. Possible transmission of severe acute respiratory syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) in a Public Bath Center in Huai'an, Jiangsu Province, China [J]. *JAMA Network Open*, 2020, 3(3): e204583.