



平流层放大火灾的全球气候影响

魏科¹, 陈文^{1*}, 徐路扬², 周春江³

1. 中国科学院大气物理研究所季风系统研究中心, 北京 100190;

2. 北京市气象台, 北京 100089;

3. 中国科学院大气物理研究所东亚中心, 北京 100029

* 通讯作者, E-mail: chenw@mail.iap.ac.cn

收稿日期: 2019-09-18; 收修改稿日期: 2019-11-25; 接受日期: 2019-12-02; 网络版发表日期: 2019-12-25

2019年夏季, 全球多个地区火灾严重. 比如, 加拿大不列颠哥伦比亚省、美国阿拉斯加、格陵兰岛部分地区等都遭遇了野火燃烧, 俄罗斯西伯利亚和远东地区森林火灾也特别严重, 影响到近300万公顷的土地, 并使得俄罗斯部分地区进入紧急状态. 特别是南美洲亚马孙地区的森林火灾引起全球关注, 根据《Science》杂志报道, 截至2019年8月24日, 巴西国家太空研究所(INPE)统计到的火灾点已超过4.1万个, 而去年同期为2.2万个, 比去年多86%, 众多科学家认为火灾增多与最近的森林砍伐活动的增加有密切关联(Arruda等, 2019; Escobar, 2019).

根据全球火灾排放数据库和美国航空航天局中分辨率成像光谱仪(MODIS)的全球火点数据集, 2003~2016年期间全球总共发生了1325万场火灾, 平均每年发生火灾约100万次(Andela等, 2019). 其中非洲的草原地区是全球火灾发生最多的区域, 约占全球火灾总数的64%, 而南美洲亚马孙地区火灾总数约占全球总次数的10%. 过火面积大的大规模火灾主要发生在人口稀少的干旱和半干旱草原以及澳大利亚、非洲和中亚内陆的灌木林地, 而非洲的高密度点火灾与这些区域广泛采用放火燃烧秸秆和野草的方式进行土地管理有关. 中国东部地区也是火灾频发区域, 火灾次数从2001年约2.5万次增加到2007年约6.3万次, 中国关于秸

秆综合利用相关法规的颁布有效遏制住了火点数的快速增加趋势, 2016年火点数降为约5.3万次(Earl和Simmonds, 2018).

全球各个地区的火灾不仅毁灭森林、威胁附近居民的生命和财产安全、扰乱空中运输、造成当地严重的空气污染, 而且破坏生态系统、影响生物多样性、产生大量二氧化碳. 高纬度多年冻土地区的燃烧还会影响冻土的稳定性、释放冻土中的甲烷, 并且燃烧产生的烟尘降落在冰雪上, 会使冰雪表面变黑, 降低冰雪的反照率, 这些都有可能加强全球温室效应.

尤其值得注意的是, 野火燃烧还可能将黑碳气溶胶喷射到平流层, 从而影响臭氧层和更大范围的气候. 最近的一项研究(Yu等, 2019)就监测到2017年8月在加拿大西部不列颠哥伦比亚省的山火形成的烟尘颗粒的演变情况, 当月这一区域火灾频发, 仅8月3日当天就记录到446处火灾, 其中威力强大的山火可以形成火风暴, 产生高大的火积云(pyroCbs), 像巨大的烟囱一样将燃烧产生的黑烟喷射进入平流层中. 平流层由于没有明显的垂直运动, 空气以水平运动为主, 因此进入平流层的黑烟可以持续存在较长的时间, 高灵敏度的卫星观测数据显示, 这些烟羽在平流层的持续停留时间可长达8个月之久. 对比分析表明, 烟尘的主要成分为有机碳(organic carbon, OC)以及黑碳(black carbon,

中文引用格式: 魏科, 陈文, 徐路扬, 周春江. 2020. 平流层放大火灾的全球气候影响. 中国科学: 地球科学, 50: 318–320, doi: 10.1360/SSTe-2019-0214

英文引用格式: Wei K, Chen W, Xu L, Zhou C. 2020. Stratosphere amplifies the global climate effect of wildfires. Science China Earth Sciences, 63: 309–311, <https://doi.org/10.1007/s11430-019-9560-3>

BC); 有机碳的一部分被称作褐碳, 能够吸收太阳光蓝色以及紫外波段的辐射, 由于参与大气光化学反应, 因此褐碳生命期较短, 只有几小时. 相对褐碳, 黑碳对几乎所有光谱段的太阳辐射都有吸收作用, 因此其对大气的加热效应也更为持久. 关于2017年加拿大西部野火的研究也首次指出, 烟尘中黑碳气溶胶在吸收太阳辐射加热大气后, 会随着大气被抬升到更高的平流层, 从而更有利于其在平流层的长期存在.

2017年8月的烟尘事件中, 进入平流层的黑碳总质量约为0.006Tg(Tg: 百万吨). 黑碳可以通过加热周围空气, 引起大气加热上升, 将低层臭氧浓度低、水汽含量高的空气输送进入平流层, 分析(Yu等, 2019)表明臭氧出现了约0.3ppmv的局地损耗($1\text{ppmv}=1\mu\text{L L}^{-1}$), 约占100hPa高度(距离地面约16km)臭氧浓度的50%; 分析结果还显示出水汽含量增加(>5ppmv). 这些水汽和臭氧的异常是对流层大气输送进入平流层的结果, 而非平流层中的化学过程引起. 数值模式还模拟出在2017年8月黑碳气溶胶对当地平流层大气的加热达到7℃.

上述野火燃烧的影响在地球演变中也许并不那么引人注目, 但如果发生超级火山爆发, 就会将大量的二氧化硫气体喷射入平流层, 在平流层形成硫酸盐气溶胶, 导致平流层中臭氧层的严重破坏. 数值模式模拟表明(Xu等, 2019), 如果平流层中臭氧损耗物质只有20世纪90年代一半, 一次超级火山爆发会造成全球平均臭氧含量6%的损耗. 而当人造的臭氧损耗物质全部清除, 只剩下自然排放源(主要为 CH_3Cl 和 CH_3Br)时, 全球平均臭氧损耗为2.5%, 这几乎达到了20世纪90年代臭氧损耗最严重时期赤道以外地区的臭氧损耗程度.

除了野火燃烧会导致大规模黑碳气溶胶进入平流层, 人类核战争导致大规模城市、森林和有机质燃烧, 也会将大量黑碳喷射进入平流层. 一个广岛级别的小核弹(~1.5万吨TNT当量)引起的爆炸和熊熊烈火燃烧会将大约0.05Tg黑碳喷射入平流层; 一场小型核战争(仅发射100枚广岛级别核弹)在毁灭100个城市的同时, 会将约5Tg的黑碳喷射进入平流层(Toon等, 2008). 黑碳的自加热上升效应和平流层特殊的水平环流条件都有利于黑碳气溶胶的长期存在, 模拟表明, 战争10年之后, 平流层还约有1.1Tg的黑碳存在. 进入平流层的黑碳气溶胶引起到达地面的全球太阳辐射降低约8%, 造成全球平均温度降低1.5℃以上, 北半球中纬度地区臭

氧损耗量达到30~40%, 北半球高纬度地区臭氧损耗达到50~60%(Robock等, 2007; Mills等, 2014). 以上气候异常将使全球农业受损, 中美两个大国的主粮大米、小麦和玉米等减产20~40%(Xia等, 2015). 而如果全球性核大战爆发, 则会将数百至数千Tg的黑碳喷射进入平流层, 导致“核冬天”, 从而彻底地改变地球气候的走向.

平流层大气的动力稳定性条件和水平环流, 可以将局地的影响放大为区域甚至全球影响, 并延长进入平流层的气溶胶的影响时间, 使得平流层在气候变化中充当“放大器”的作用. 在地球漫长的历史演变过程中, 大规模火灾、活跃的火山活动、小行星撞击等都有可能将黑碳、硫酸盐等气溶胶粒子喷射入平流层, 通过平流层环流输送到全球, 影响地球系统的辐射平衡, 放大成全球气候事件. 进入平流层的小粒子看起来像是微不足道的成分, 在关键的节点上可能发挥关键的作用, 造成剧烈的全球气候变化, 其中仍有很多涉及辐射、光化学以及输送动力学等问题值得深入研究, 科学届亟需关注对火灾影响全球气候的平流层过程, 研究成果必将有利于深入了解地球气候系统并采取恰当趋利避害手段, 维护地球环境、生态和气候系统的稳定.

参考文献

- Andela N, Morton D C, Giglio L, Paugam R, Chen Y, Hantson S, van der Werf G R, Randerson J T. 2019. The global fire atlas of individual fire size, duration, speed and direction. *Earth Syst Sci Data*, 11: 529–552
- Arruda D, Candido H G, Fonseca R. 2019. Amazon fires threaten Brazil's agribusiness. *Science*, 365: 1387
- Earl N, Simmonds I. 2018. Spatial and temporal variability and trends in 2001–2016 global fire activity. *J Geophys Res-Atmos*, 123: 2524–2536
- Escobar H. 2019. Amazon fires clearly linked to deforestation, scientists say. *Science*, 365: 853
- Mills M J, Toon O B, Lee-Taylor J, Robock A. 2014. Multidecadal global cooling and unprecedented ozone loss following a regional nuclear conflict. *Earth's Future*, 2: 161–176
- Robock A, Oman L, Stenchikov G L. 2007. Nuclear winter revisited with a modern climate model and current nuclear arsenals: Still catastrophic consequences. *J Geophys Res*, 112: D13107
- Toon O B, Robock A, Turco R P. 2008. Environmental consequences of

- nuclear war. [Phys Today](#), 61: 37–42
- Xia L, Robock A, Mills M, Stenke A, Helfand I. 2015. Decadal reduction of chinese agriculture after a regional nuclear war. [Earth's Future](#), 3: 37–48
- Xu L, Wei K, Wu X, Smyshlyaev S P, Chen W, Galin V Y. 2019. The effect of super volcanic eruptions on ozone depletion in a chemistry-climate model. [Adv Atmos Sci](#), 36: 823–836
- Yu P, Toon O B, Bardeen C G, Zhu Y, Rosenlof K H, Portmann R W, Thornberry T D, Gao R S, Davis S M, Wolf E T, de Gouw J, Peterson D A, Fromm M D, Robock A. 2019. Black carbon lofts wildfire smoke high into the stratosphere to form a persistent plume. [Science](#), 365: 587–590

(责任编辑: 穆穆)