

黑碳气溶胶在东北不同季节温度的特征分布

戴文一¹ 李琳² 冷雪峰¹ 段义香¹ 李峰³ 杨行²

1 辽宁省建昌县气象局 2 绥中县气象局 3 兴城市气象局

DOI:10.12238/eep.v7i7.2181

[摘要] 东北是我国最大的商品粮食基地,由于粮食的产量与气候息息相关,东北的气候变化一直备受关注。由于黑碳气溶胶可以直接吸收来自太阳的辐射以及红外辐射,并对大气的能量收支平衡产生影响,因此,其对气候有重要的影响。同时,东北又是典型的气候脆弱区和对全球变暖最为敏感的地区之一。为了探究黑碳气溶胶浓度变化对东北温度的影响,根据MERRA-2和NOAA的再分析资料,分析了1981—2021年间东北温度和黑碳气溶胶分布特征及变化趋势,在此基础上通过相关性分析和合成分析等统计学方法,主要结论为:1981—2021年东北不同季节温度整体上都呈现一致的上升趋势,且增温速率由小到大为冬、春、夏、秋。

[关键词] 东北温度; 黑碳气溶胶; 特征

中图分类号: TQ436+.4 文献标识码: A

The interannual variation trend of near-surface temperature of black carbon aerosol in different seasons in northeast China

Wenyi Dai¹ Lin Li² Xuefeng Leng¹ Yixiang Duan¹ Zheng Li³ Xing Yang²

1 Bureau of Meteorology of Jianchang County Province, Liaoning

2 Bureau of Meteorology of Suizhong County 3 Bureau of Meteorology of Xingcheng City

[Abstract] the northeast is the largest commodity grain base in our country. Because the grain yield is closely related to the climate, the climate change in the northeast has been concerned. Black carbon aerosols have a significant impact on climate because they can absorb both solar and infrared radiation directly and affect the energy budget of the atmosphere. At the same time, the northeast is a typical climate vulnerable area and one of the most sensitive areas to global warming. In order to investigate the influence of changes in black carbon aerosol concentration on northeast temperature, the distribution characteristics and trends of northeast temperature and black carbon aerosol over the 2021 from 1981 to 2001 were analyzed based on the reanalysis data of Merra-2 and NOAA, on this basis, through the statistical methods such as correlation analysis and synthetic analysis, the main conclusions are as follows: the temperature in different seasons of northeast China from 1981 to 1981 showed a consistent rising trend in the 2021 as a whole, and the heating rate from small to large for winter, spring, summer, autumn.

[Key words] northeast temperature, black carbon aerosol, characteristics

引言

东北位于东北亚的中心地带,从气候上看属于温和的季风性气候,同时也是一个对气候变化响应最敏感的地区之一。此外,东北地区还是一个重要的产业和能源基地,有哈尔滨、长春、沈阳、大连、鞍山、抚顺、本溪以及吉林等多个大的工业城市。在这片区域,有着大量的钢铁、机械、煤炭、石油等重工业。因为它的冬天很长,所以它每年要消耗很多矿物能源来取暖。受气候与人类活动的影响,我国东北地区每年产生了大量的大气中的碳污染物,黑碳气溶胶便是其中之一。

黑碳气溶胶是一类普遍存在的大气颗粒物。在IPCC的第3期评估中,根据吸光率、化学反应率和/或热稳定性等指标对黑碳气溶胶组分进行了界定。它的主要成分是烟肼和木炭,还有一种可以吸收射线的有机材料。随着人类社会对能源的依赖和人类社会的不断发展,人类活动产生了大量的黑色碳化物,并引起了空气中黑色碳化物的急剧上升。随着大气中黑碳含量的不断增加,其对全球变暖的影响日益受到重视。

在研究黑碳气溶胶与东北温度之间的联系时,为了能更好的体现其对温度的影响。本文将选取黑碳气溶胶浓度较高的季

节进行分析,简要介绍了所采用的模式与数据资料,然后介绍了本文用到的研究方法和试验设计方案,最后给出结论和讨论。

1 使用的数据说明

美国太空总署(NASA)的MERRA-2卫星资料。该数据集是由全球建模与同化办公室于2017年发布的一项新的再分析数据。MERRA-2大气层探测器的研制重点是流通模式(AGCM),该模式上可无缝运行的数值天气预报、再分析、气候和全球中尺度模式。MERRA-2首次将气溶胶场辐射耦合到大气中进行分析,这也是向地球系统综合分析迈出重要一步。近年来MERRA-2数据集得到了广泛应用。自1980年后,MERRA-2才拥有稳定且格式规范的产品,本文采用的数据包括:全球建模和同化办公室(GMAO)的月平均地面长波辐射吸收量资料以及月平均地表黑碳气溶胶浓度资料,所选时间段为1980年12月—2021年12月,资料的分辨率为 $0.5^{\circ} \times 0.625^{\circ}$ 。

2 研究方法

本文采用NOAA的地面2m温度场的月平均数据,通过简单区域平均(所选范围为 $39^{\circ}\text{--}54^{\circ}\text{N}$, $118^{\circ}\text{--}135^{\circ}\text{E}$),即将所选区域内所有格点资料求和后取平均的方法来定义东北的近地面温度。并使用一元线性拟合的方法来表示东北不同季节近地面温度的年际变化趋势。

本文的黑碳气溶胶数据来源为NASA的MERRA-2数据集,与取温度的平均的方法一样,本文对同一地区做区域平均从而得出东北黑碳气溶胶浓度的年际变化趋势。并对1981—2021年东北的黑碳气溶胶浓度做年平均,得出1981—2021年间东北黑碳气溶胶浓度的平均空间分布特征。之外,本文还用到了滑动相关性分析、合成分析等常规统计学方法。

3 试验设计

近几年,国内外学者利用一系列的实验,包括 Russell P B 等人开展的对流层气溶胶-气溶胶辐射强迫的观测实验、ResF 等人开展的气溶胶特性实验-II、Ramanathan V等人在印度洋开展的实验,以揭示其对气温的影响。已有的实验结果显示,黑碳气溶胶在大气层顶部会引起正向的辐射强迫,而在接近地面时会引起负向的辐射强迫。IPCC对黑碳气溶胶的垂直辐射强迫进行了综合分析,得出了其垂直辐射强迫值($+0.24 \pm 0.14\text{W/m}^2$)。而在与水溶性气溶胶(如硫酸根、有机碳等)的内掺混过程中,它的光学性质将会产生巨大的变化,从而使其具有更强的正辐射强度。这说明了黑碳气溶胶对地表气温有一定的影响。

为探究黑碳气溶胶对我国东北近地面温度的影响,设置了一组对照试验(见表1)。

表1 黑碳气溶胶气候效应模拟试验

试验名称	气溶胶排放源
控制试验	Lamarque et al[17]的IPCC AR5的排放源数据,为2000年排放水平
敏感性试验	同控制试验,仅去除黑碳气溶胶

4 黑碳气溶胶的分布特征

东北是我国主要的黑碳排放源地之一。根据张楠等的研

究,2008年东北的黑碳排放量之和达到了当年全国黑碳排放总量的10%。

分析东北黑碳气溶胶浓度在不同季节的平均分布情况,给出了1981—2021年东北四季黑碳气溶胶浓度多年平均。表明东北黑碳气溶胶浓度的分布具有南部高,北部低,东部高,西部低的特点。且不同季节的分布情况存在一定的差异。高值中心的黑碳气溶胶浓度分别为冬季: 5.0ug/m^3 , 春季: 4.5ug/m^3 , 秋季: 4.0ug/m^3 , 夏季: 3.5ug/m^3 。以该区域为中心,黑碳气溶胶浓度向东部西部和北部辐射递减。其中东北西北部的黑碳气溶胶浓度最低,在春冬季为 1.0ug/m^3 , 夏季秋季为 0.5ug/m^3 。北部和东部次之,春冬季为 1.5ug/m^3 , 夏秋季为 1.0ug/m^3 。综上所述,东北的黑碳气溶胶主要分布在人口密度大,工业化程度高的地区。

5 黑碳气溶胶浓度的年代际变化特征

东北是我国主要的黑碳排放源地之一。根据张楠等的研究,2008年东北的黑碳排放量之和达到了当年全国黑碳排放总量的10%。

分析东北黑碳气溶胶浓度在不同季节的平均分布情况,给出了1981—2021年东北四季黑碳气溶胶浓度多年平均。表明东北黑碳气溶胶浓度的分布具有南部高,北部低,东部高,西部低的特点。且不同季节的分布情况存在一定的差异。高值中心的黑碳气溶胶浓度分别为冬季: 5.0ug/m^3 , 春季: 4.5ug/m^3 , 秋季: 4.0ug/m^3 , 夏季: 3.5ug/m^3 。以该区域为中心,黑碳气溶胶浓度向东部西部和北部辐射递减。其中东北西北部的黑碳气溶胶浓度最低,在春冬季为 1.0ug/m^3 , 夏季秋季为 0.5ug/m^3 。北部和东部次之,春冬季为 1.5ug/m^3 , 夏秋季为 1.0ug/m^3 。综上所述,东北的黑碳气溶胶主要分布在人口密度大,工业化程度高的地区。

在此基础上,通过对东北地区各网格节点上的黑碳气溶胶数据进行累加处理,得到各网格节点上黑碳气溶胶的年平均水平。从图2可以看出,在东北地区,黑碳气溶胶的含量有明显的季节变化。其浓度在冬天是最大的,其次是春、秋季,而在夏天则是最小的。这是由于东北冬季寒冷干燥,每年都因供暖消耗大量燃料,产生大量的黑碳气溶胶,使得东北秋冬季节的黑碳气溶胶浓度水平较高。而春季浓度偏高则是受到露天秸秆焚烧带来的影响,3、4月为秸秆焚烧的高发时段。夏季浓度最低是因为夏季降水频率最高,根据许黎等的研究,黑碳气溶胶受到雨水的冲刷作用后会产生湿沉降,使得大气中黑碳气溶胶浓度下降。图2还表明,1981—2021年间东北各个季节的黑碳气溶胶浓度总体上呈现一致的上升趋势。春季的黑碳气溶胶浓度自1995年后显著增加,并在随后的20多年内整体上始终保持增长的趋势。而冬季、夏季、秋季的黑碳气溶胶浓度则是在2000年前后显著上升,并在2015年前后达到高峰,随后开始下降。

黑碳气溶胶的浓度不仅与黑碳排放源有关,还与局地的气候条件息息相关。图2显示,2003年和2008年东北春季、1998—2000年以及2003年东北夏季的黑碳气溶胶浓度均出现异常高值。本文通过分析2003年和2008年东北春季的相对湿度和温度距平场发现,2003年与2008年东北春季都出现了温度的正距

平,2003年东北全境都处于相对湿度的负距平区。2008年黑龙江省大部以及辽宁大部分地区都出现了相对湿度的负距平,致使2003年和2008年东北春季出现异常高温和干旱的天气现象。异常高温会导致天然火灾发生的概率增加,从而使得黑碳气溶胶的排放量增加。降水对黑碳气溶胶粒子具有冲刷作用,降水的减少将导致黑碳气溶胶湿沉降量下降,致使其浓度升高。2000年前后东北夏季黑碳气溶胶浓度的异常偏高可能也与该地区夏季相对湿度偏低,降水量异常减少有关。

综上所述,黑碳气溶胶浓度受到黑碳排放量和局地气候条件共同的影响。东北的黑碳气溶胶浓度具有冬季高,夏季低,旱年高,涝年低的分布特点。且黑碳气溶胶的浓度易受到极端气候事件的影响而产生异常波动。

6 结论

通过对1981—2021年间东北温度和黑碳气溶胶浓度时空分布特征的分析和诊断,以及利用气候模式对黑碳气溶胶对东北温度的模拟,得出以下结论:

黑碳气溶胶的浓度主要受局地气候条件和人为排放源的影响。局地气候对其浓度的影响则主要体现在降水与风速风向这两方面,降水会使得大气中的黑碳气溶胶产生湿沉降,而风速风向的改变均会使得大气中的黑碳气溶胶浓度发生改变。因此,黑碳气溶胶的浓度易受到极端气候事件的影响而产生波动。

由于东北的城市化和工业化具有很强的区域不均匀性,各地的气候条件也有很大差别。因此,对各个要素进行简单的区域平均不能很好的反映东北的真实情况。本文采用的数据均为月平均数据,不能很好的反应大气中黑碳气溶胶浓度的变化。本项目拟采用CESM模型,对黑碳气溶胶的气温效应进行数值模拟,但该模型仅能反映出大气中的大致情况,与实际情况有较大差异,仅能提供一些参考,实际情况仍有待进一步研究和分析。目前对

黑碳气溶胶的气候影响的认识比较片面,其与气温的关系也需要深入探讨。

参考文献

- [1]IPCC.Third Assessment Report,Climate Change 2001: The Scientific Basis[R].New York:Cambridge University Press, 2021.
- [2]张华,王志立.黑碳气溶胶气候效应的研究进展[J].气候变化研究进展,2019(6):311—317.
- [3]Ramanathan V,Carmichael G.Global and regional climate changes due to black carbon[J].Nature,2018,1:221—227.
- [4]张靖,银燕.RegCM3模拟黑碳气溶胶对中国气候的影响[C]//.第四届长三角科技论坛论文集(下册),2007:255—260.
- [5]包哲,郑鑫,吴培肇,等.基于RegCM3下黑碳气溶胶对我国区域气候变化影响的模拟研究[J].科技通报,2018(11):37—42.
- [6]刘超,胡海波,张媛,等.CAM3.0模式中东亚气溶胶浓度变化的直接效应及全球海面温度年代际变化对东亚夏季降水的影响研究[J].热带气象学报,2019,30(06):1048—1060.
- [7]MENON S,HANSEN J,NAZARENKO L,et al.Climate effects of black carbon aerosols in China and India[J].Science,2022,297:250—253.
- [8]ZHANG H,WANG Z,GUO P,et al.A modeling study of the effects of direct radiative forcing due to carbonaceous aerosol on the climate in East Asia[J].Advances in Atmospheric Sciences,2019,26(01):57—66.
- [9]Xu X,Yang X,Zhu B,et al.Characteristics of MERRA-2 black carbon variation in east China during 2000—2016—Science Direct[J].Atmospheric Environment,2019,222:1016—1046.