



北京城市黑碳气溶胶浓度、微物理性质的变化特征

Variations in black carbon aerosol concentration and microphysical properties in urban Beijing

武云飞 夏芸洁 夏祥鳌 张仁健



研究背景:

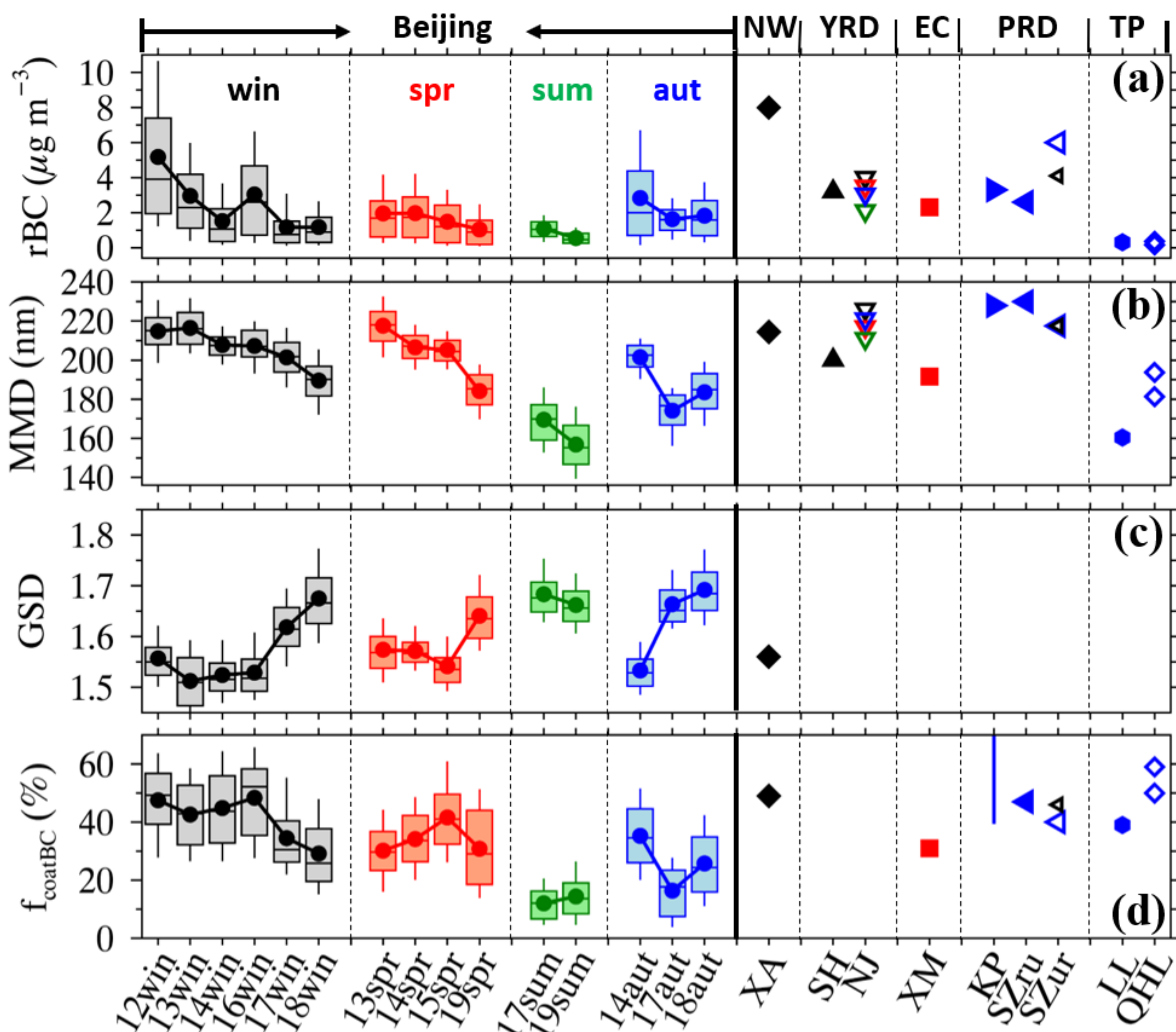
黑碳气溶胶可能造成仅次于CO₂的增温效应，是全球增暖的重要贡献因子之一。由于时空分布的不均匀性以及微物理性质（如粒径、混合态等）的复杂性，现阶段对黑碳气溶胶辐射强迫的估算依然存在很大不确定性。2013年以来，中国开始大力治理空气污染，执行了一系列严格的污染防治措施，很大程度上降低了细颗粒物PM_{2.5}的浓度，这些措施对黑碳气溶胶浓度产生多大的影响？造成其微物理性质怎样的改变？这需要更多有针对性的观测支撑，为提高污染治理背景下的气溶胶辐射气候效应评估的准确性提供基础科学数据。

研究方法:

基于单颗粒黑碳光度计SP2在北京城区开展了近7年的观测，获取了2013-2019年黑碳气溶胶浓度、粒径、混合态的多时间尺度变化特征，并结合理论模型探讨了微物理性质改变对黑碳吸收效率的潜在影响。

季节变化:

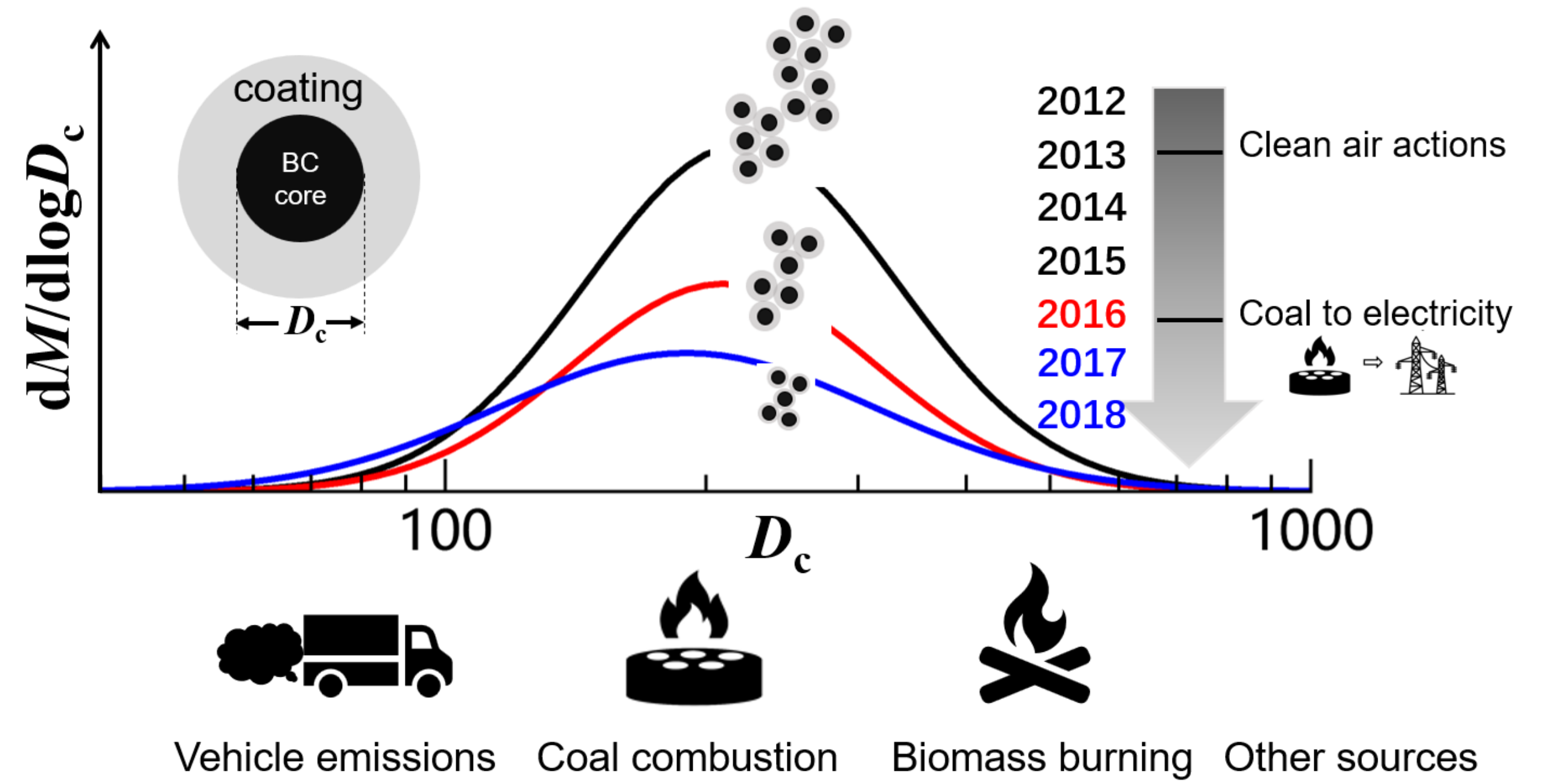
如下图所示,黑碳浓度呈现明显的冬高夏低的变化特征,与居民源排放的变化密切相关。由于黑碳气溶胶自身在大气中不易发生化学反应,其粒径主要取决于源排放和在大气中的碰并过程,因此,冬季较高的居民取暖相关的燃煤和生物质燃烧排放以及大气中较高的浓度使得黑碳核质量中值粒径(MMD)冬季显著高于夏季,但粒径对数正态分布的几何标准差(GSD)夏季高于冬季,同时也使得冬季黑碳气溶胶的内混比(指被非难熔成分包裹的黑碳气溶胶个数占总黑碳气溶胶的比例)明显高于夏季。



年际变化:

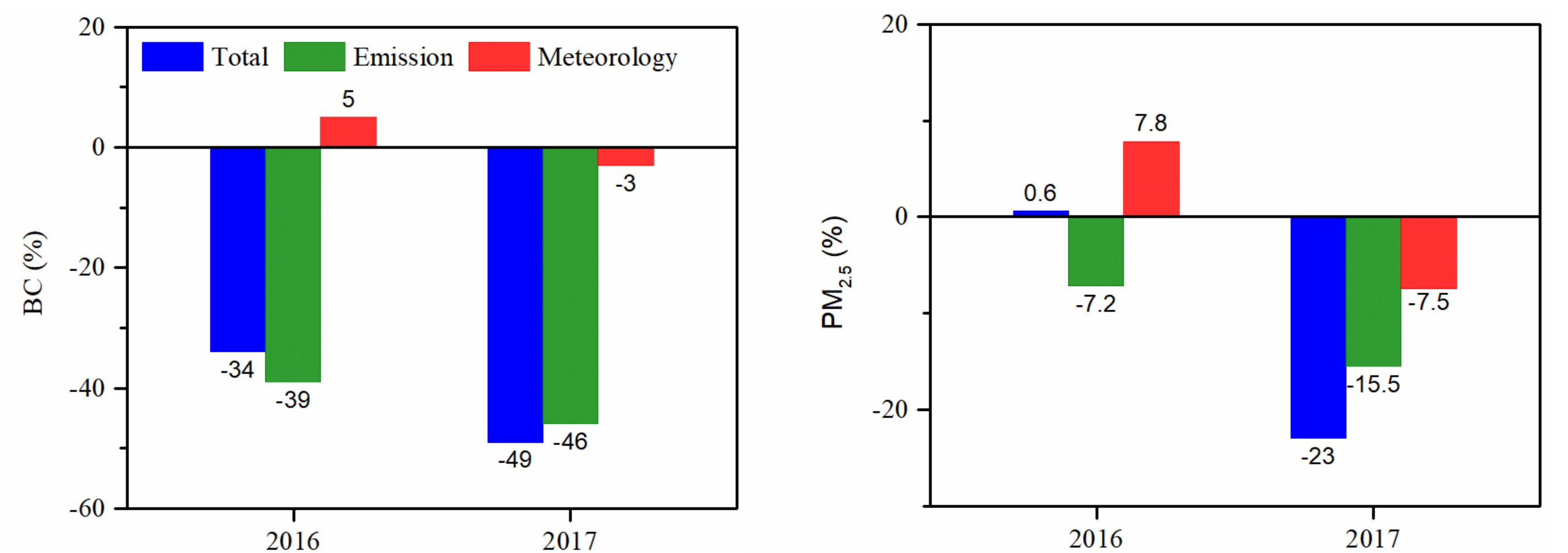
从上图中可以清楚看到,2013年以来北京城市黑碳气溶胶浓度呈现明显的下降趋势,以冬季为例,从5.2 μg m⁻³下降到1.2 μg m⁻³,降幅高达77%。伴随黑碳浓度的下降,黑碳核粒径也显著减小,冬季的MMD均值从219 nm减小到192 nm,相反GSD均值从1.55增大至1.65。粒径的变化不仅与黑碳气溶胶浓度下降造成碰并过程的减弱有关,也与排放源的改变密切相关。严格的大气污染防治减少煤炭消耗,尤其是降低民用散煤和生物质燃烧,减少大粒径黑碳气溶胶的排放,这一现象在2016年北京及周边全面推行“煤改电”的措施之后更为明显(如下示意图)。相应地,黑碳气溶胶的混合状态也发生了变化,大气中内混态黑碳气溶胶的比重显著下降,冬季内混比由48%下降到29%。

Black carbon aerosols became smaller in core sizes and less coated



变化原因:

提出了一种基于轨迹聚类分析的排放和气象贡献分离的方法,估算了排放控制和输送场变化对黑碳气溶胶浓度变化的相对贡献。相比于2015年,2016年和2017年黑碳年均浓度下降了34%和49%,其中减排导致的浓度降低分别为39%和46%,是造成黑碳浓度下降的绝对主导因素。



潜在影响:

总的来说,受污染治理的显著影响,北京城市黑碳气溶胶变“瘦”,体现为核粒径减小且包裹程度减弱。基于Mie理论计算,包裹减少造成黑碳吸收效率的减弱可能强于粒径的影响,这会叠加在黑碳浓度降低的基础上,进一步降低大气气溶胶对太阳辐射的吸收。

Wu YF*, Xia YJ, Zhou C, Tian P, Tao J, Huang R-J, et al., 2021: Effect of source variation on the size and mixing state of black carbon aerosol in urban Beijing from 2013 to 2019: Implication on light absorption. *Environmental Pollution*, 270, 116089, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116089>.

Xia YJ, Wu YF*, Huang R-J, Xia XA, Tang J, Wang M, et al., 2020: Variation in black carbon concentration and aerosol optical properties in Beijing: Role of emission control and meteorological transport variability. *Chemosphere*, 254, 126849, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126849>.