

迪丽努尔·塔力甫教授研究组：
新疆不同功能区（城市、石化工业区）大气气/固相污染物大气化学转化机理、来源及毒理

目前我国空气质量由传统的总悬浮颗粒物转向以 PM_{2.5} 和臭氧 (O₃)、二氧化硫 (SO₂)、氮氧化物 (NO_x)、挥发性有机物 (Volatile organic compounds, VOCs) 形成的复合型污染。当前 PM_{2.5} 的化学特征、形成机理和污染形式是国内外研究的重点。研究针对乌鲁木齐市、克拉玛依独山子区的大气挥发性有机物 (VOC)、实时监测的 O₃、CO、SO₂、NO₂、可吸入颗粒物 (PM₁₀、PM_{2.5}) 的理化特征 (化学组成、形貌和粒径等) 进行分析, 结合气溶胶热力学模型 (E-AIM) 探讨颗粒污染物中颗粒相含水量以及颗粒酸碱性, 分析颗粒相中的硫酸盐质量浓度受到颗粒含水量和颗粒酸碱度的影响及颗粒相含水条件下硝酸盐的形成是以非均相还是均相反应; 利用反向轨迹聚类定性分析模型及正矩阵因子模型 (PMF) 源解析模型分析区域大气 PM_{2.5} 的污染来源及源贡献特征分析; 并利用毒性评价模型及体外质粒 DNA 损伤实验, 对 PM_{2.5} 中的金属元素和多环芳烃的毒性进行评价; 研究中发现水溶性有机碳 WSOC 能够通过均相 (气相) 光化学反应和非均相过程形成, 气象因素对 WSOC 的浓度也会有影响。较高的 WSOC 浓度 (或 WSOC/OC 比值) 发生在高湿度、低温度和风速条件下, 如图 1。

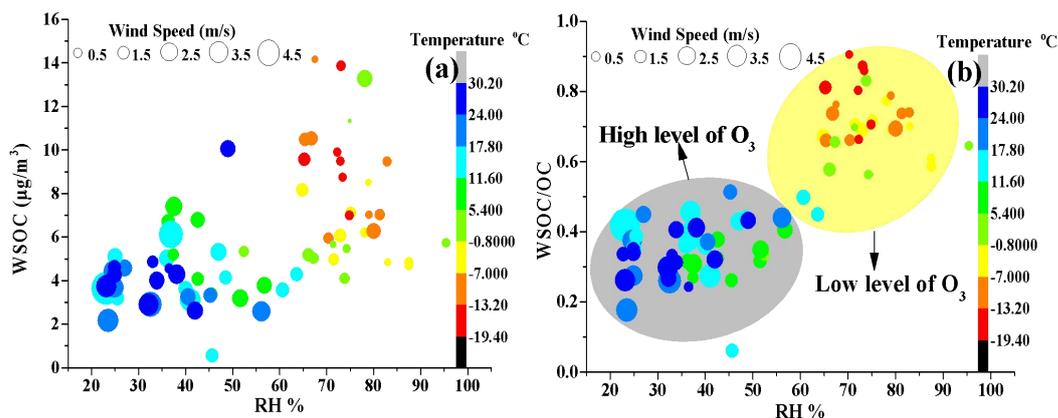


图 1 相对湿度、温度和风速对 WSOC(a)和 WSOC/OC(b)的影响

Fig. 1 Combined effects of relative humidity, temperature, and wind speed on WSOC(a) and WSOC/OC(b)

较高的二次离子 (SNA) 浓度和稳定气象条件的共同作用可能是导致区域大气能见度低的主要原因, 如图 2。当相对湿度低于 70% 时, SNA 浓度对能见度的影响明显大于 PM_{2.5}, 因此, 能见度下降主要与 SNA 浓度有关; 当相对湿度大于 70% 时, 能见度下降幅度更大, 说明相对湿度对能见度的影响更强, 也可以认为相对湿度为 70% 是一个临界值。由此认为能见度的降低主要是由于二次离子和较高的相对湿度的协同作用导致。在较高的相对湿度条件下由于二次离子具有吸湿性, 导致颗粒物粒径增大, 从而增强颗粒物的散光性能。

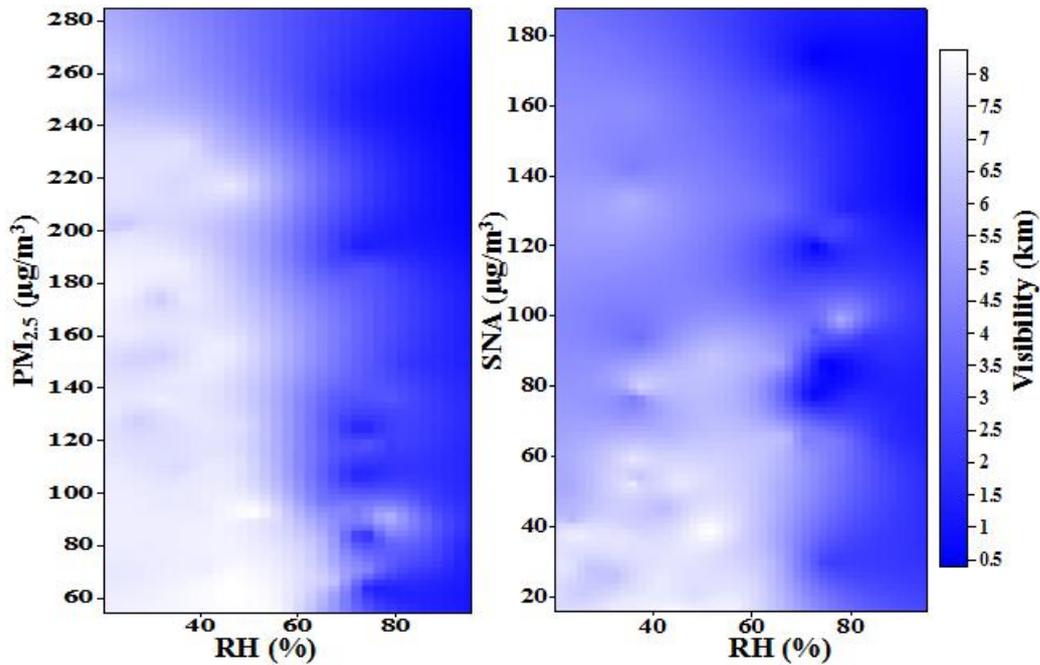


图 2 相对湿度 (RH) 与 $PM_{2.5}$ 、SNA ($SNA=[SO_4^{2-}]+[NO_3^-]+[NH_4^+]$) 对能见度的影响的响应图
 Fig. 2 Image of mass concentration of $PM_{2.5}$ or SNA ($SNA=[SO_4^{2-}]+[NO_3^-]+[NH_4^+]$) concentrations, relative humidity on visibility

健康风险评价结果 (图 3), 致癌风险的主要贡献源是石油和煤炭燃烧源 ($PM_{2.5}$ 轻度污染: 72%; 中度污染: 77%; 重度污染: 75%; 全年: 90%), 汽车尾气源 (轻度污染: 17%; 中度污染: 10%; 重度污染: 20%; 全年: 8%) 与钢铁和塑料燃烧源 (轻度污染: 11%; 中度污染: 13%; 重度污染: 5%; 全年: 2%) 的致癌风险贡献较低。这些结果表明乌鲁木齐城区的石油和煤炭燃烧源排放对致癌风险的贡献最高。

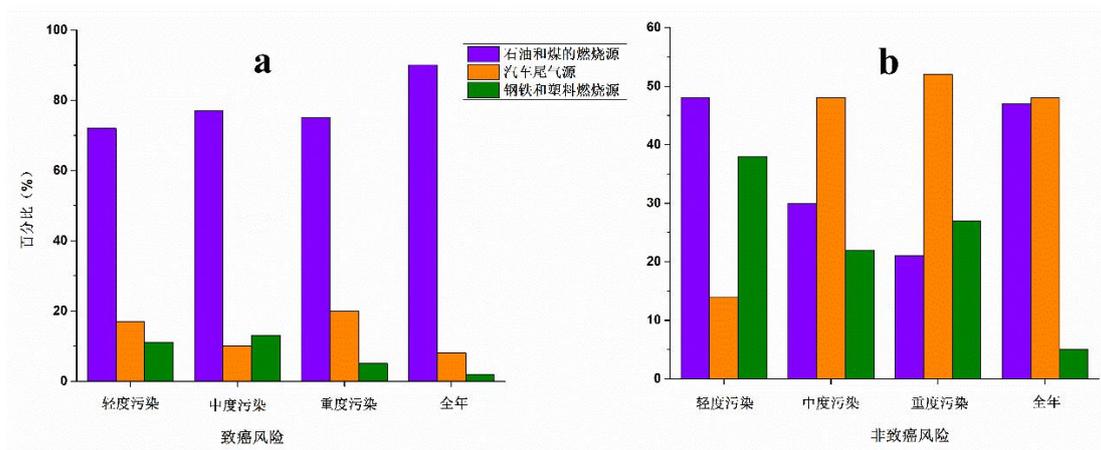


图 3 三种来源在不同污染程度下的致癌风险(a)和非致癌风险(b)的贡献
 Figure 3 Contribution of three sources of carcinogenic risk (a) and non-carcinogenic risk (b) in different pollution levels

反向轨迹聚类定性分析表明秋季独山子区气流主要受 6 类气团控制（图 4）。第一类气团(C1)来自西南方向，起源于伊犁和石河子，以缓慢的速度运行至独山子区，占有所有轨迹的 14%，PM_{2.5} 质量浓度为 76.53 μg m⁻³；第二类气团(C2)来自独山子西部，起源于哈萨克斯坦，该气团对应的轨迹数占总轨迹数的 6%，PM_{2.5} 质量浓度为 65.21 μg m⁻³；气团三(C3)来自西南方向，轨迹条数最多，占有所有轨迹的 71%，PM_{2.5} 质量浓度为 69.84 μg m⁻³；轨迹 4(C4)、5(C5)和 6(C6)主要来源于独山子北边和西北边，分别占 5%、2%和 2%，其中 C5 和 C6 属于跨区域输送，气团输送速度较快，分别起源哈萨克斯坦和俄罗斯，C6 中 PM_{2.5} 质量浓度最高 83.24 μg m⁻³。

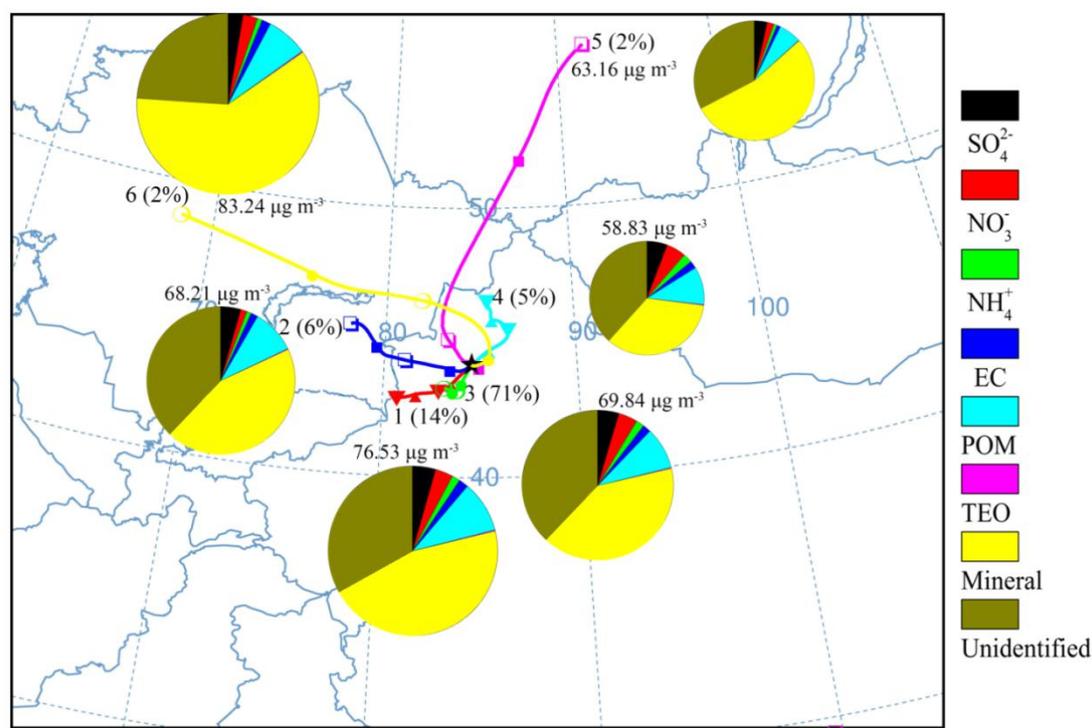


图 4 秋季气团运动轨迹和化学组分

Fig.4 Backward trajectory cluster and their chemical componenets in autumn

研究表明，SOR（硫酸化率）值的大小受颗粒相含水的影响较为明显（图 5 (d)）。说明颗粒水含量的增加可能会促进 SO₂ 的转化生成更多的 SO₄²⁻如[图 5 (b)、图 5 (d)]。图 5 (c) 进一步得出，随着颗粒相含水的增加硫酸盐的含量与空气中臭氧的含量出现了相反的变化。说明颗粒在高含水，低臭氧浓度的条件下气相氧化的光化学变化显得并不重要，可能取而代之的是反应速率更快的液相氧化过程。另外，冬季高浓度的 NO₂ 在硫酸盐气溶胶的形成过程中是一中重要

的氧化剂^[43, 44], 使得在颗粒含水较高的情况下 SO₂ 氧化的非均相反应得到了加强。粒具有更强的吸水性让颗粒表面富集了更多的水, 使得液相的 H⁺ 离子浓度的下降而导致较高的 pH 值 (图 6), 从而使得更多的 SO₂ 进入液相, 导致硫酸盐生成速率的提高。

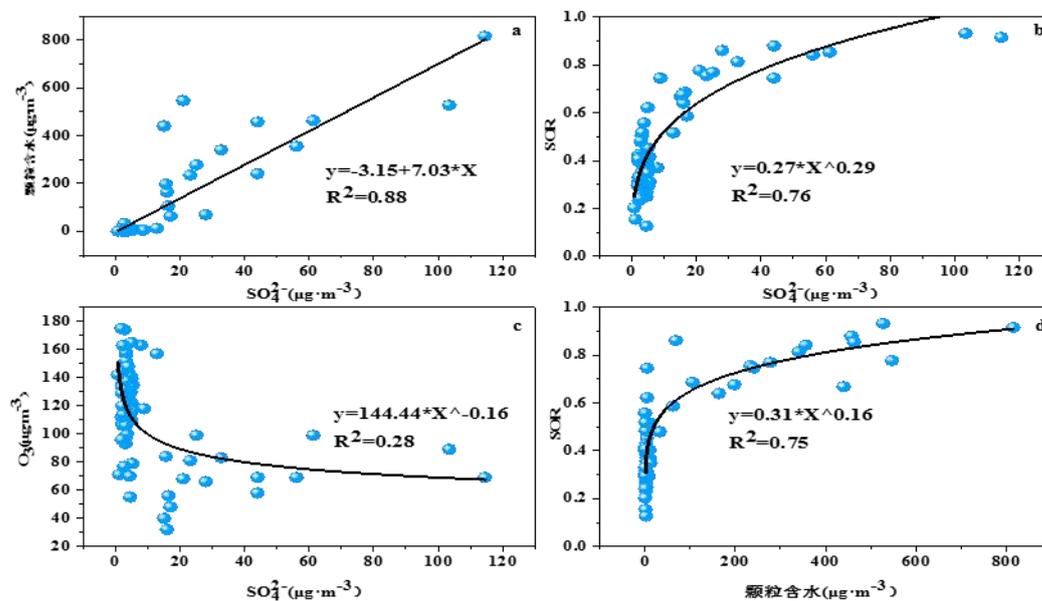


图 5 (a) 颗粒含水量与硫酸盐浓度的关系 (b) SOR 与硫酸盐浓度的关系 (c) O₃ 与硫酸盐浓度的关系 (d) SOR 与颗粒含水量的关系

Fig. 5 (a) Relationship between particle liquid water and inorganic sulfate concentration, (b) Relationship between SOR and inorganic sulfate concentration (c) Relationship between ozone and inorganic sulfate concentration (d) Relationship between SOR and particle liquid water

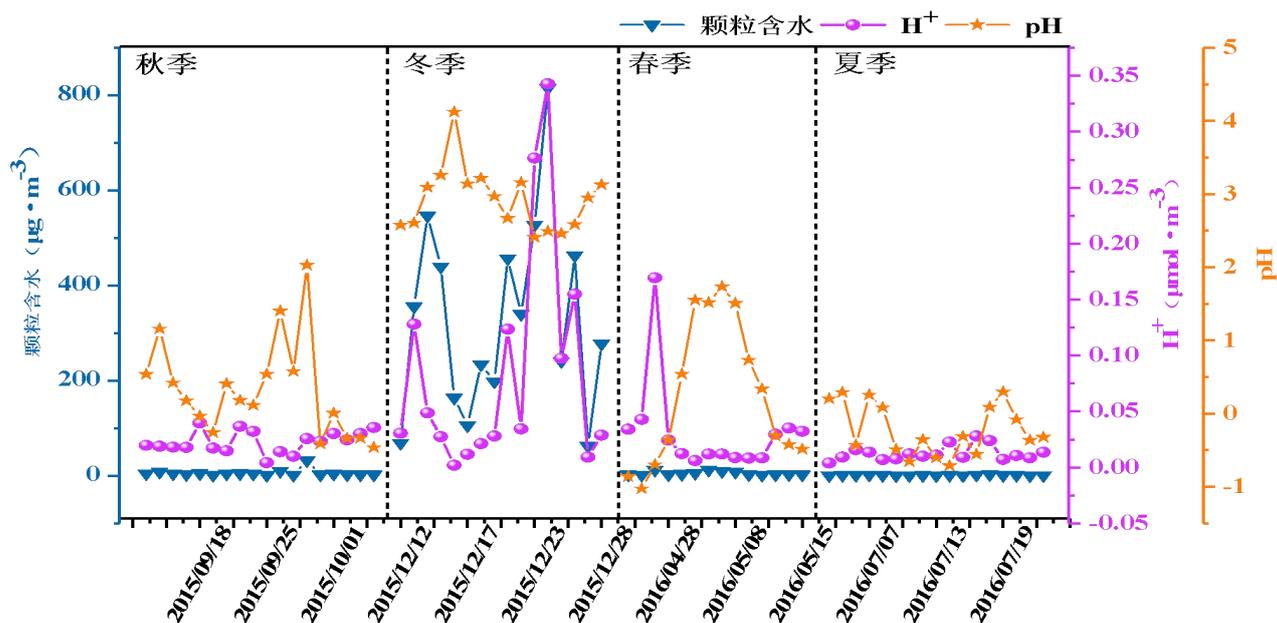


图 6 不同季节颗粒含水、H⁺、pH 的季节变化

Fig. 6 Seasonal changes of particle liquid water, H⁺ and pH in different seasons

以上研究的相关文献如下：

- 1、 Wei Wang, Xiang Ding, Yusan Turap et.al. Distribution, sources, risks, and vitro DNA oxidative damage of PM_{2.5}-bound atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons in Urumqi, NW China[J]. Science of The Total Environment, 2020.
- 2、 Yusan Turapa, Dilinuer Talifua, Xinming Wangb, Abulikemu Abulizia,Mailikezhati Maihemutia,Yalkunjan Tursuna, Xiang Dingb, Tuerhong Aierkena,Suwubinuer Rekefu.Temporal distribution and source apportionment of PM_{2.5} chemical composition in Xinjiang, NW-China. Atmospheric Research ,2019,218:257–268
- 3、 刘会斌, 迪丽努尔·塔力甫, 王新明, 张潇潇, 王威, 阿布力克木·阿不力孜, 买里克扎提·买合木提, 刘伟. 新疆石化工业区颗粒物含水量和酸度对二次无机组分形成的影响[J].环境科学. 2020,41(6):2536-2546.
- 4、 张渊钰, 王新明, 刘晓玲, 迪丽努尔·塔力甫*等. 新疆独山子区 VOCs 组成及其对 O₃ 和 SOA 的贡献[J].中国环境科学,2020,40(05):1915-1923.
- 5、 Xiaoxiao Zhang, Xiang Ding, Dilinuer Talifu, Xinming Wang, Abulikemu Abulizi, Mailikezhati Maihemuti1, Suwubinuer Rekefu. (2020). Humidity and PM_{2.5} composition determine atmospheric light extinction in the arid region of NW China. Journal of environmental sciences.

以上研究工作得到了国家自然科学基金 (41967050), 有机地球化学国家重点实验室开放基金(SKLOG-201915)的支持。