黑碳的农业与生活源排放对东亚气候、空气质量的影响及其气候-健康效益评估

一、项目介绍

黑碳气溶胶能够吸收太阳光，对全球气候变化、区域空气质量和人体健康产生重要影响。对其制定减排措施、助力缓解全球变暖意义重大。

当前对黑碳排放-老化-传输-暴露及其对应的气候、环境和健康效应研究仍存在很多不足，如受制于BC 观测的方法和平台，缺乏黑碳长时间序列监测和垂直分布廓线以及实测的排放因子；清单构建方法单一；黑碳健康风险评价中的剂量-响应关系等缺失，限制了高分辨率和低不确定性排放清单构建、黑碳浓度空间分布、黑碳气候环境和健康风险的模拟和评价，进而制约黑碳减排策略制定。这些观测、模拟和验证工作在发展中国家尤其缺少。

为了积极落实我国碳达峰碳中和重大战略和《联合国气候变化框架公约》要求，项目通过创新试验平台，开发先进模型，从黑碳垂直分布和高时空分辨率农业和生活源黑碳排放清单入手，开展黑碳气候环境效应，到黑碳健康效益等联合科技攻关，为我国应对气候变化提供黑碳减排策略支持、科技支撑和决策参考。

二、项目成果

项目创建了 SP2 和 AMS 联合机载新型观测方法，观测发现黑碳垂直分布为非常规模型中的指数递减，揭示欧洲黑碳

污染条件与北京清洁下条件相当，发现中国黑碳更加老化，更易被活化即间接效应，造成辐射强迫增强。证明了华北地区在污染条件下，黑碳的包裹可能会对边界层造成 0.15K/h 的加热，定量了由于包裹物带来的最高正辐射强迫为+4Wm^{-2}，吸收增强为 200%。提出了黑碳在云中通过贝吉隆过程的移除机制，找到了黑碳实测的粒径分布与模型之间的误差原因。

提出了光照是不同源排放黑碳演化特征和机制的关键因素；开发了基于校正后钾离子动态约束 AAE 优化黑碳源解析的新方法。

自主研发了欧拉型黑碳区域源和行业源、大气水成物的在线源追踪技术，发现京津冀地区的黑碳主要来自河北（53.8%），其次是北京、天津。通过模式模拟发现黑碳对低层对流层加热，导致了季风区南部对流运动增强和对流降水率增加；而季风区北部东亚冬季偏北风增强，南部减弱。

完成了黑碳气溶胶的健康暴露反应关系及其与气温协同作用对健康影响的研究。明确了超细粒子中黑碳气溶胶对呼吸道细胞和神经系统的毒性效应。

本项目获得了 5 个创新性成果。其中所揭示的中国区域的黑碳垂直分布特征和云中黑碳新的移除机制成果被 IPCC 第六次评估报告引用。

三、成果代表图片

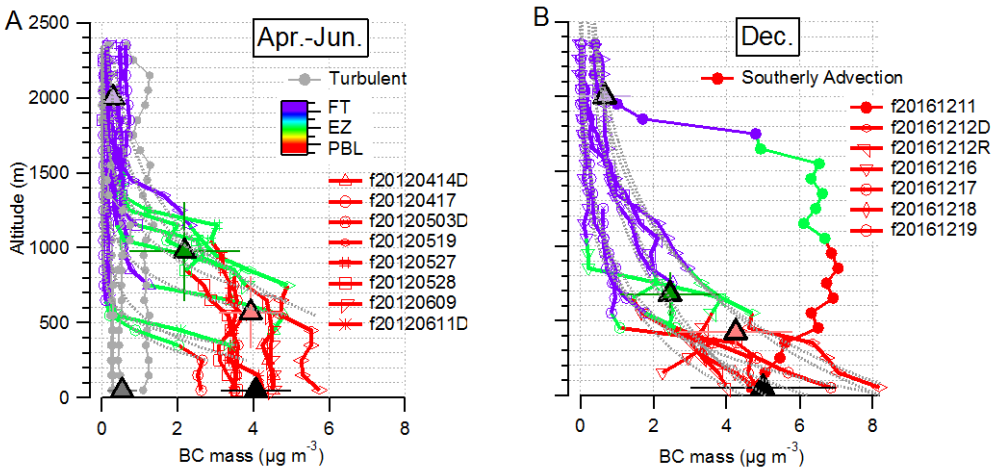

图 1. 华北地区黑碳气溶胶质量浓度的垂直分布特征，红色为边界层内，绿色为夹卷层，紫色为自由对流层

项目组通过基于飞机平台和高山站点的测量，首次大范围获得了中国黑碳气溶胶垂直分布特征，填补了部分空白。实现了对于垂直和水平传输下的黑碳传输特征、影响的气象条件和在传输过程中黑碳发生的物理化学性质演变，揭示了其关键影响因素。创新上获得了新的数据。

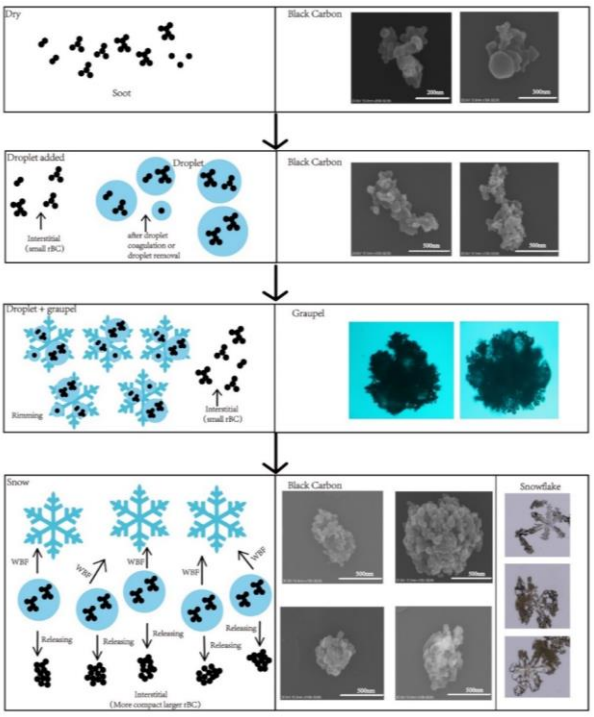

图 2 混合相云中黑碳气溶胶与大气水汽凝结体在不同湿移除阶段的相互作用的示意图。右侧图为黑碳气溶胶不同阶段的扫描电镜显微图，不同降水下的大气水汽凝结体显微图（霰粒和雪花）；图中的“WBF”表示贝基隆过程。

项目从多角度探讨了含黑碳颗粒物的云凝结核活化性质：利用单颗粒测量的黑碳包裹前后二维粒径分布空间，以及对分粒径黑碳及其包裹物的化学成分测量，实现了对于黑碳成为云凝结核的定量；并通过对尺寸分辨的云凝结核和黑碳数浓度的耦合，实现了环境黑碳液滴活化的直接量化。创新提出一种新的黑碳移除机制。