

近二十年东亚沙尘活动变化及其模拟追因

吴成来¹ 林朝晖¹ 邵亚平² 刘小红³ 李莹⁴

¹中国科学院大气物理研究所国际气候与环境科学中心 ²德国科隆大学地球物理

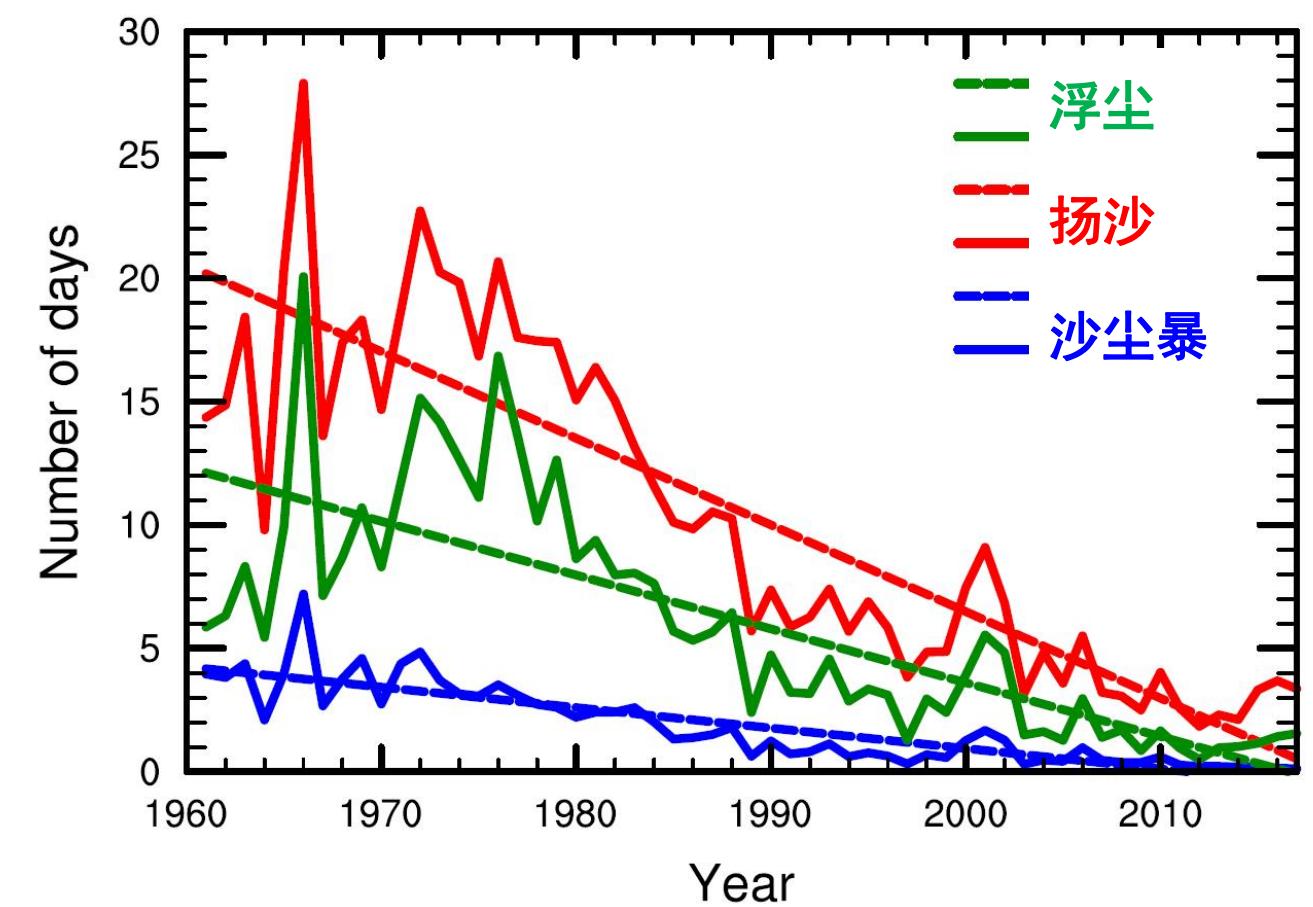
与气象研究所 ³美国德州农工大学大气科学系 ⁴国家气候中心

联系方式: wuchenglai@mail.iap.ac.cn; lzh@mail.iap.ac.cn

问题的提出

- 我国自1960年代以来，沙尘活动呈整体减弱趋势，特别是2000年以来减弱明显，然而近3年沙尘活动有增多的变化。
- 我国沙尘活动变化原因众说纷纭，亟需利用模型进行量化分析。

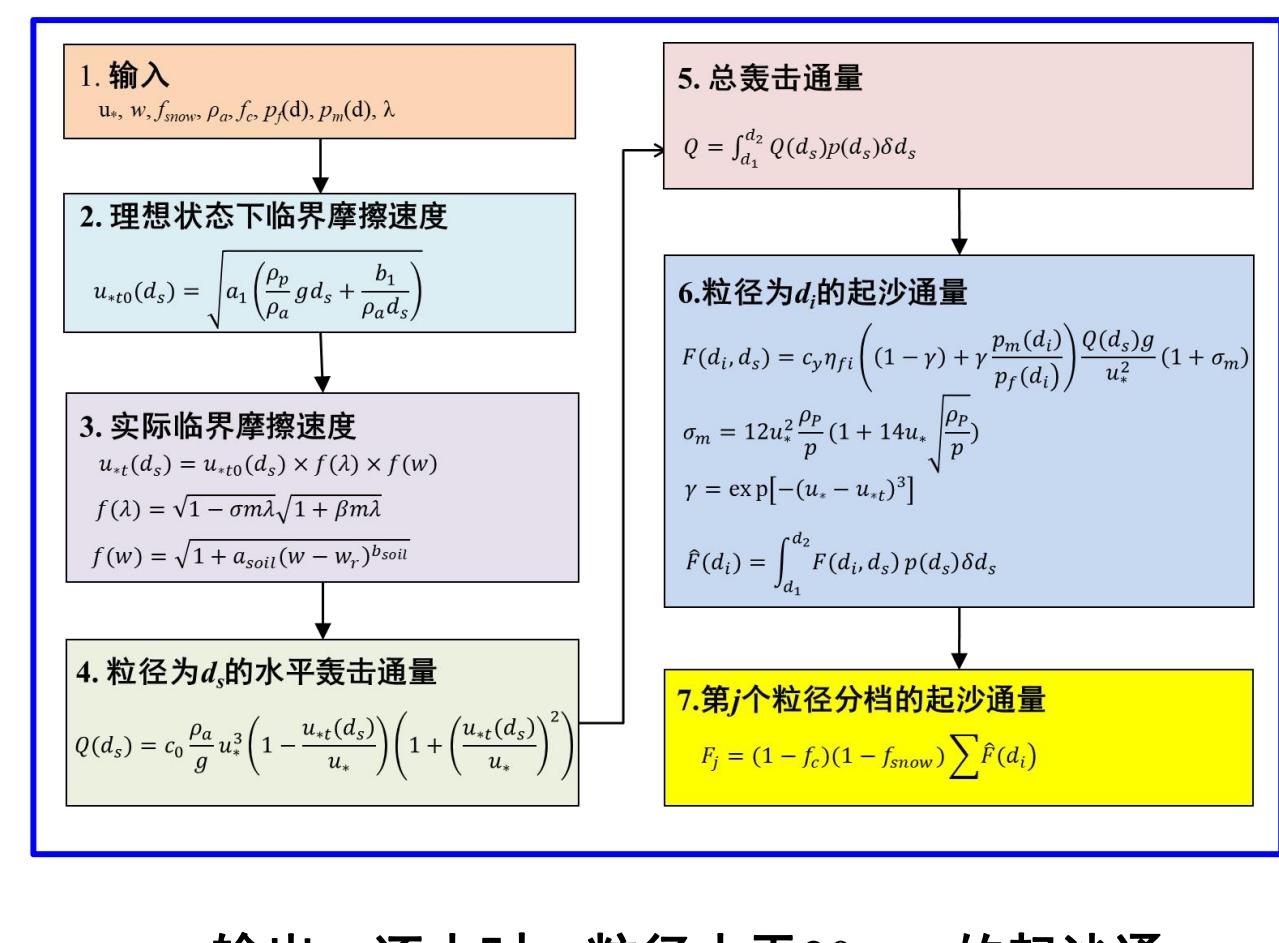
我国北方沙尘天数自1960s以来显著减少 不同因子对沙尘活动变化的贡献？



风蚀起沙模型及试验设计

- 风蚀物理起沙模型DuEM v1:** 能显式考虑风速、植被覆盖、土壤湿度的作用；
- 气象场:** MERRA-2逐小时大气和陆面再分析资料，陆面变量为观测降水订正后的结果；2000年以后同化资料更多 (Gelaro et al., 2017)；
- 叶面积指数:** MODIS观测（2000年开始），经过了时空连续性处理和质量控制
(肖志强教授和梁顺林教授团队提供的GLASS LAI V5数据；Xiao et al., 2014)。

起沙模型框架图



输入数据:

- MERRA-2: 摩擦速度 u 、土壤湿度 f_s 、积雪覆盖率 f_{snow} 、空气密度 ρ_d ；
- MODIS: 植被覆盖率 f_v 、正面积指数 λ ；
- HWSD: 土壤质地, 结合实验室数据, 得到最低和最强扰动下的粒径分布 $p_m(d)$ 和 $p_f(d)$

从理想土壤到实际土壤的临界摩擦速度:

$$u_{crit}(d_s) = u_{crit}(d_s) \times f(\lambda) \times f(w)$$

- $u_{crit}(d_s)$ 为理想土壤的临界摩擦速度
- $f(\lambda)$ 为粗糙元（主要是植被）影响因子
- $f(w)$ 为土壤湿度影响因子

正面积指数（对风阻挡）: $\lambda = \gamma \text{ LAI}$
 γ 依赖于植被的形态特征, 取为1.0

植被覆盖率（减少裸露面积）: $f_c = \text{LAI}/\text{LAI}_c$
 LAI_c 为临界值, 取为 $0.3 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$

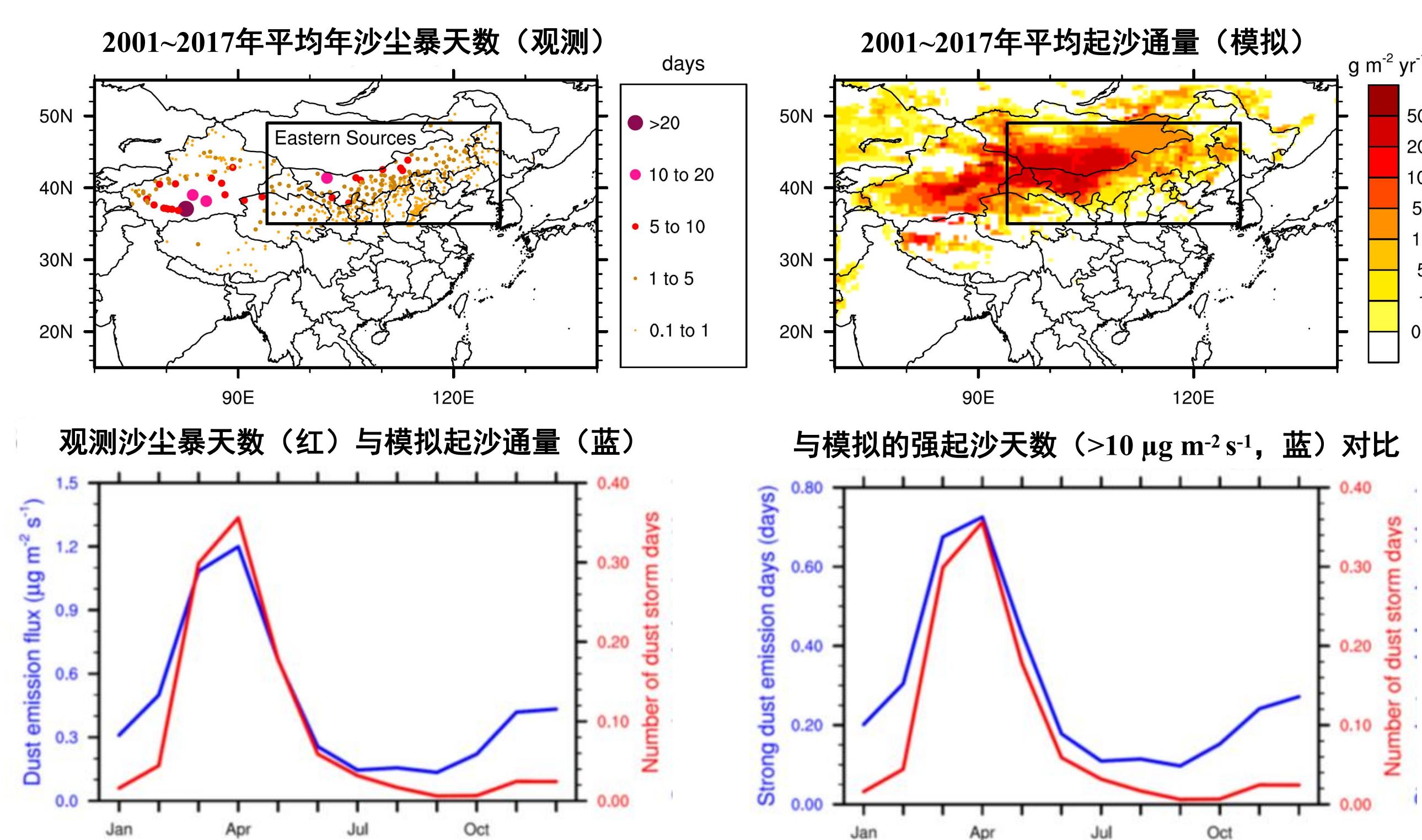
输出: 逐小时、粒径小于 $20 \mu\text{m}$ 的起沙通量

量化不同因子对沙尘活动变化贡献的数值试验

试验	时间	风速（摩擦速度）	叶面积指数	土壤湿度
Baseline (基准)	2001-2017	历史变化	历史变化	历史变化
Wind	2001-2017	历史变化	2001年	2001年
LAI	2001-2017	2001年	历史变化	2001年
SOILM	2001-2017	2001年	2001年	历史变化

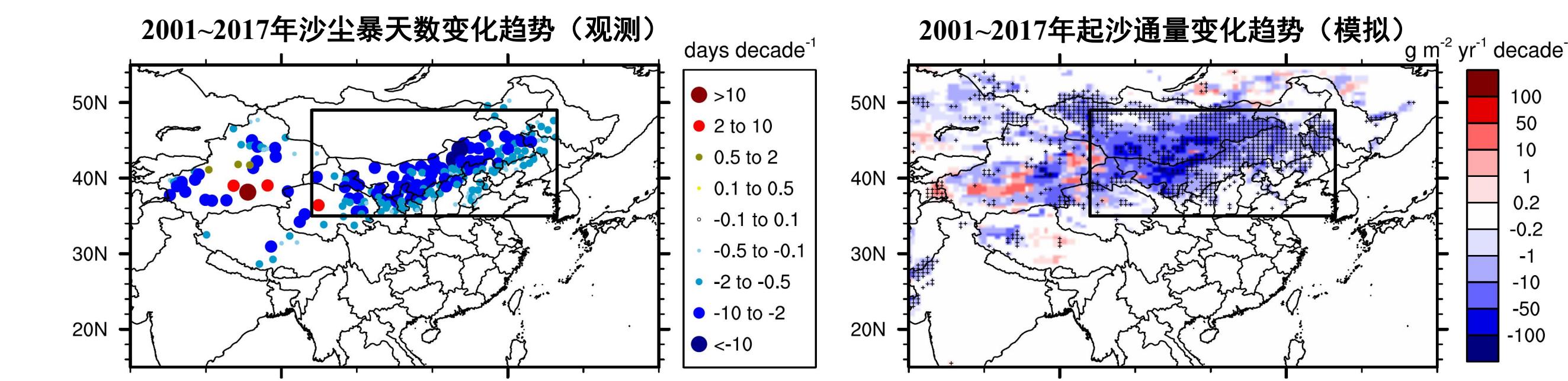
模型验证及不同因子对东亚沙尘活动变化的贡献

多年平均起沙通量的验证



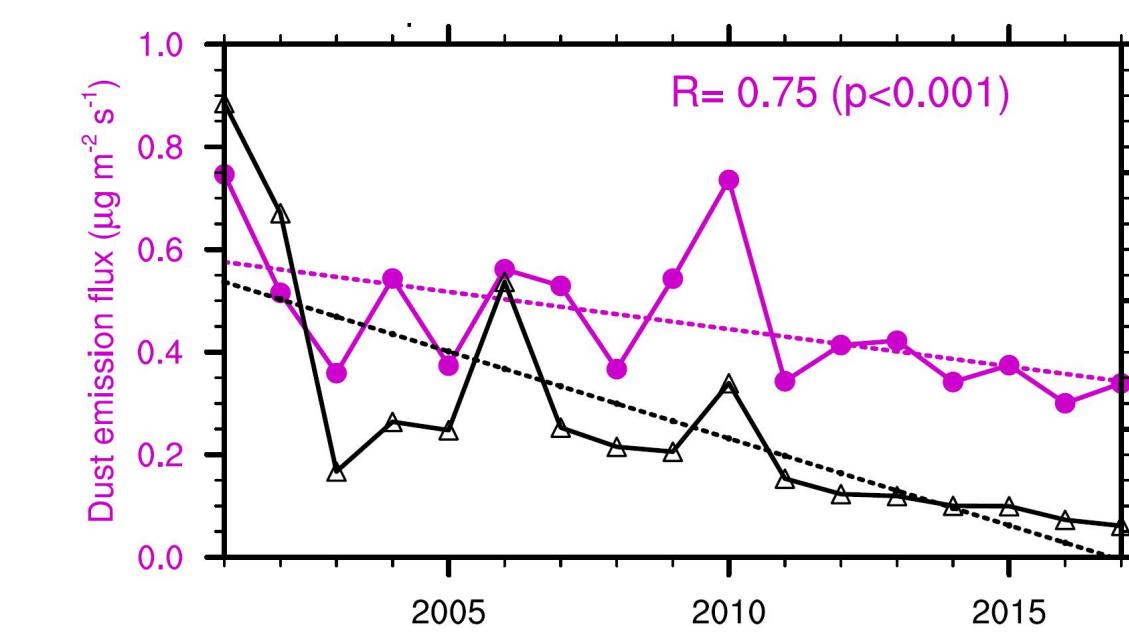
- 模式模拟出了塔里木盆地和内蒙古中西部的最强沙尘活动中心，抓住了内蒙古东部、东北西部、柴达木盆地、青藏高原上的起沙活动；
- 模式很好地模拟出了沙尘活动的季节变化，春季最强，夏末秋初最弱。

起沙通量年际变化和变化趋势的对比

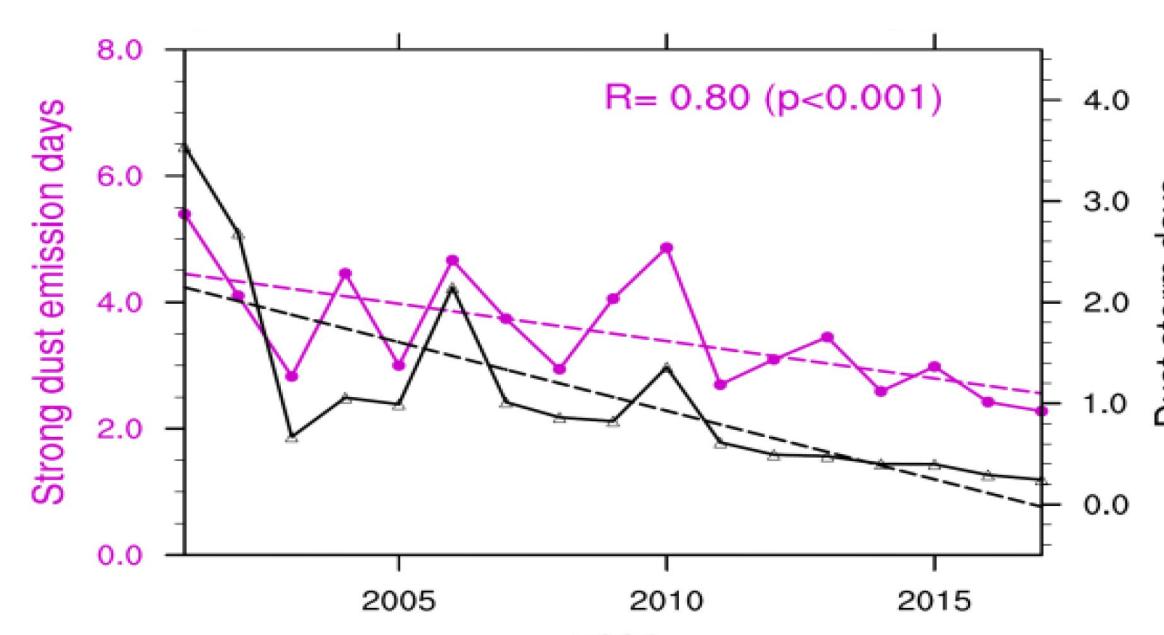


- 东部源区: 沙尘暴日数减弱明显, 模型很好地模拟出了这种趋势；
- 塔里木盆地: 盆地东部存在沙尘暴显著增加的区域, 模型也有一定的模拟能力。

东部源区: 起沙通量(紫)与沙尘暴天数变化(黑)



强起沙天数(>10 μg m^-2 s^-1, 紫)的对比

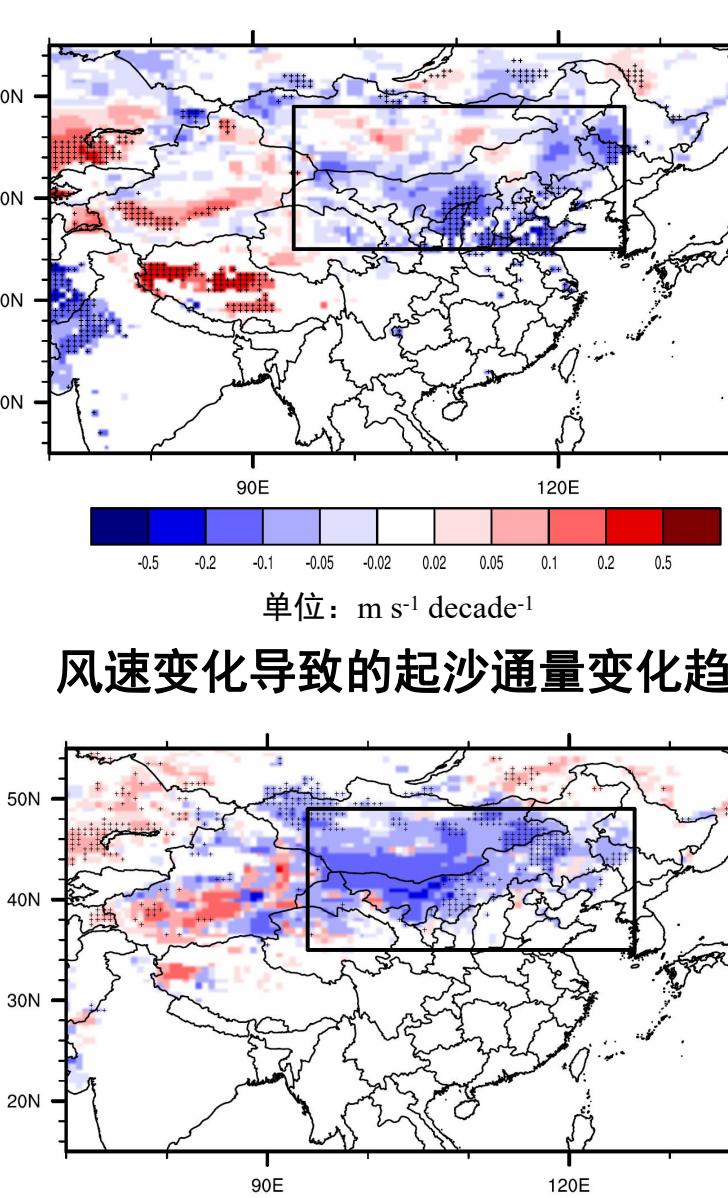


- 观测: 沙尘活动存在较大的年际变化, 但也存在显著减弱趋势；

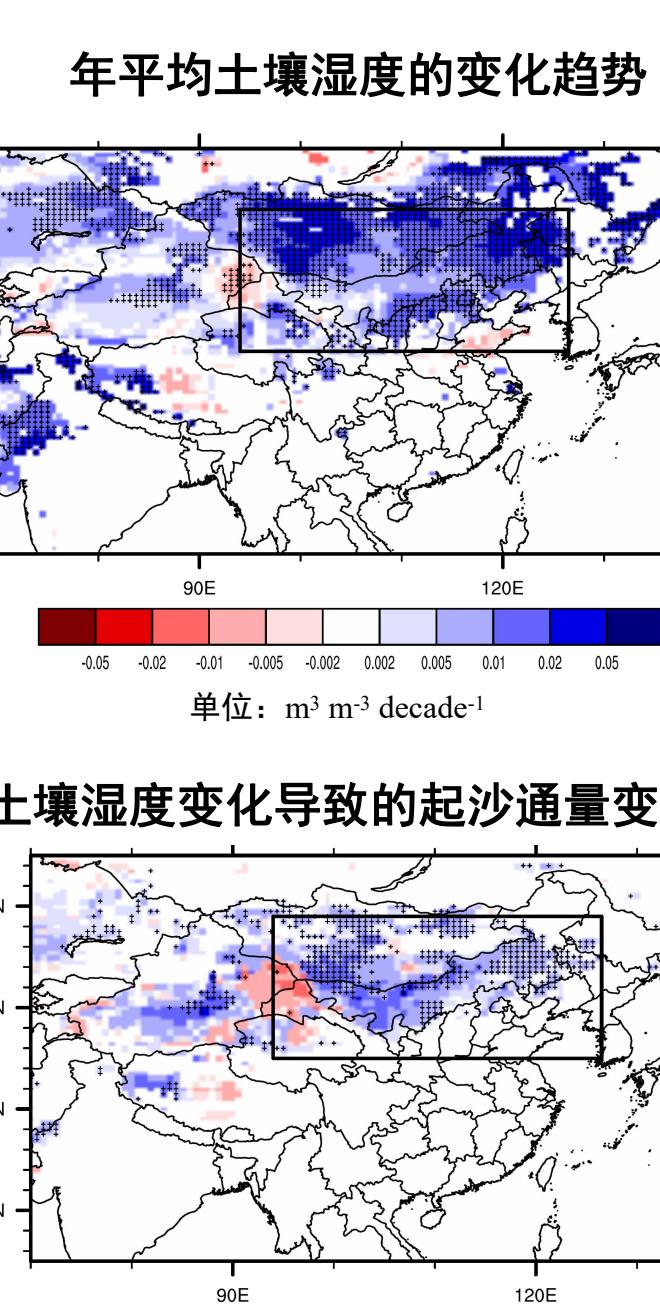
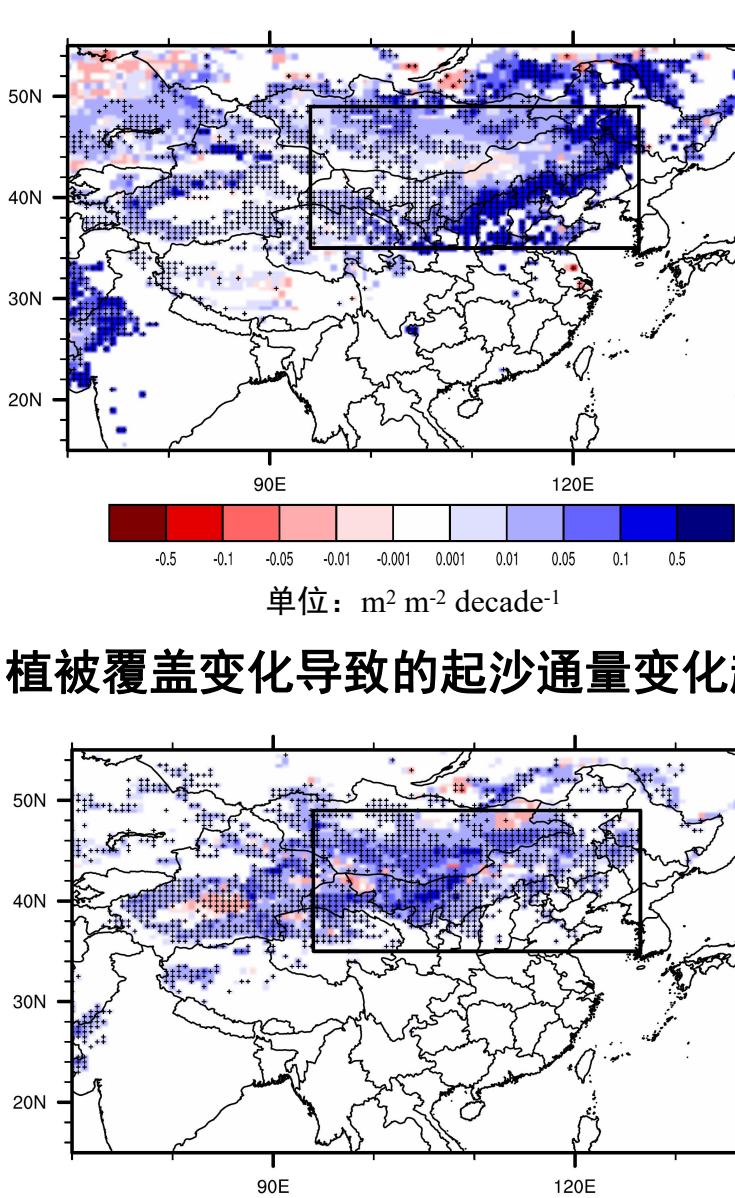
- 模式: 很好地模拟出沙尘活动的时间变化特征, 相关系数在0.75~0.80。

不同因子对起沙量减弱趋势的贡献

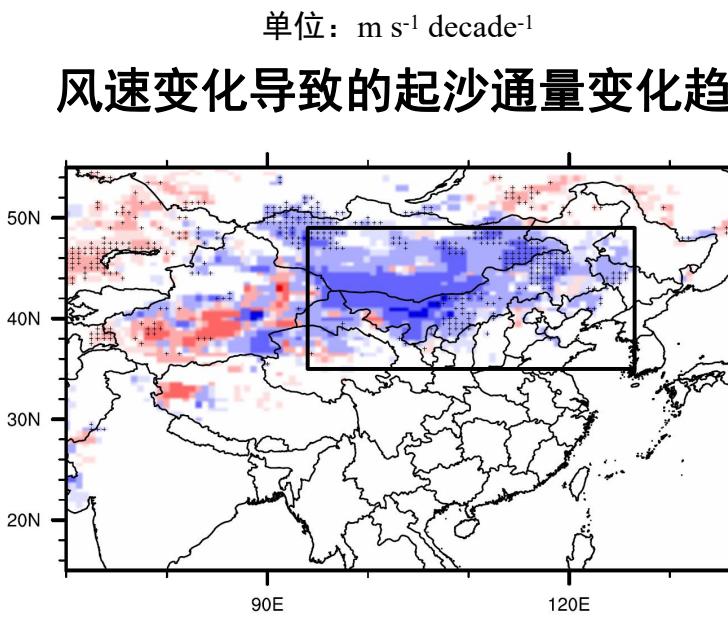
年平均风速的变化趋势



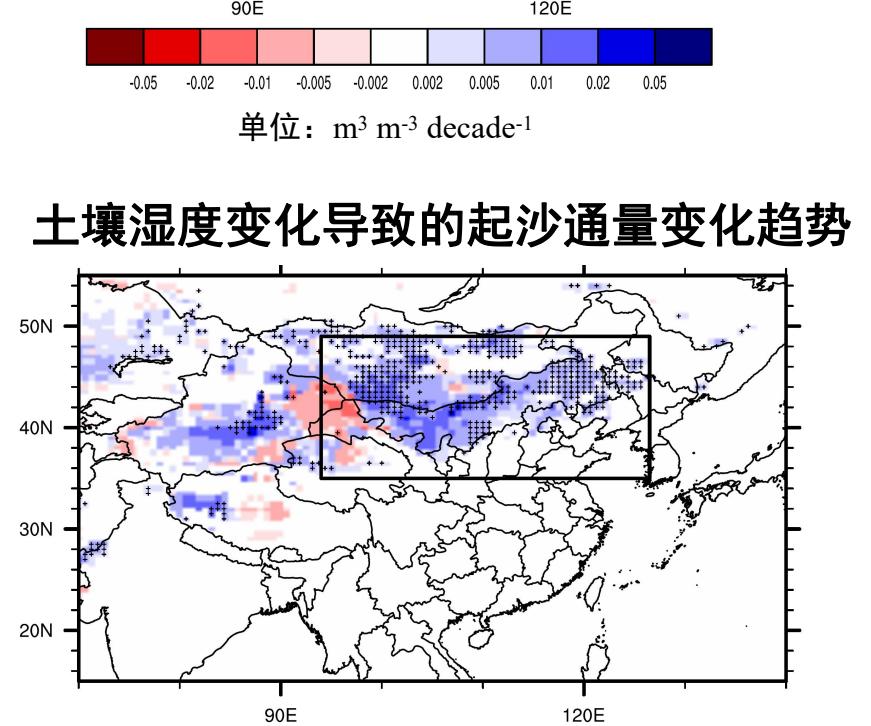
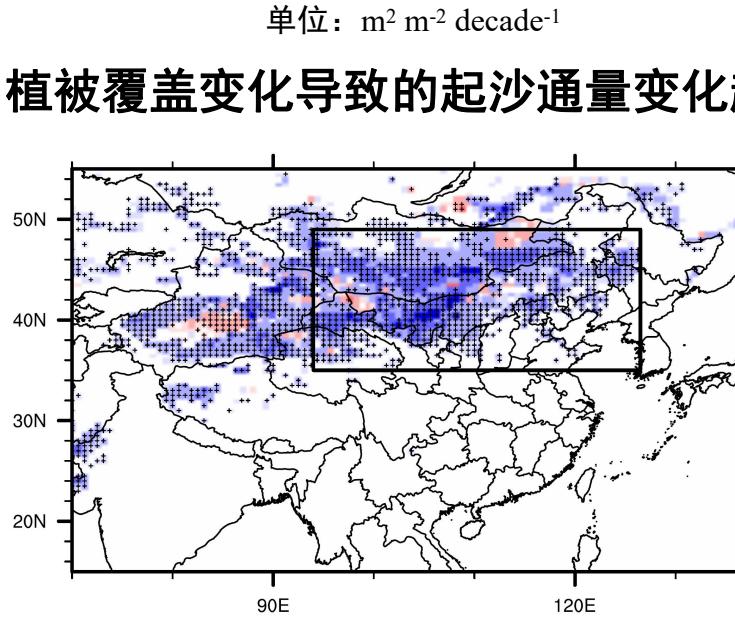
年平均LAI的变化趋势



风速变化导致的起沙通量变化趋势



植被覆盖变化导致的起沙通量变化趋势

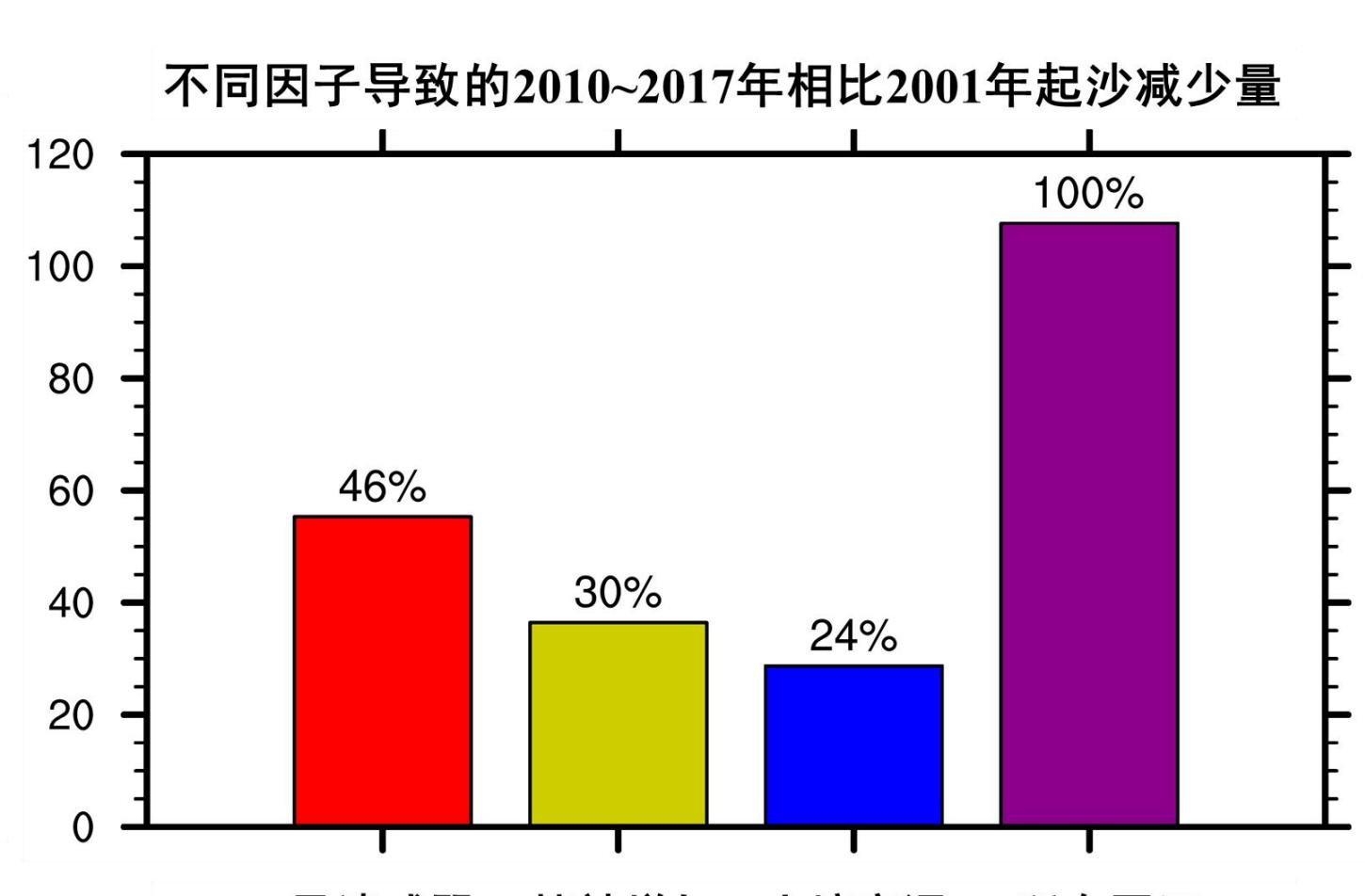
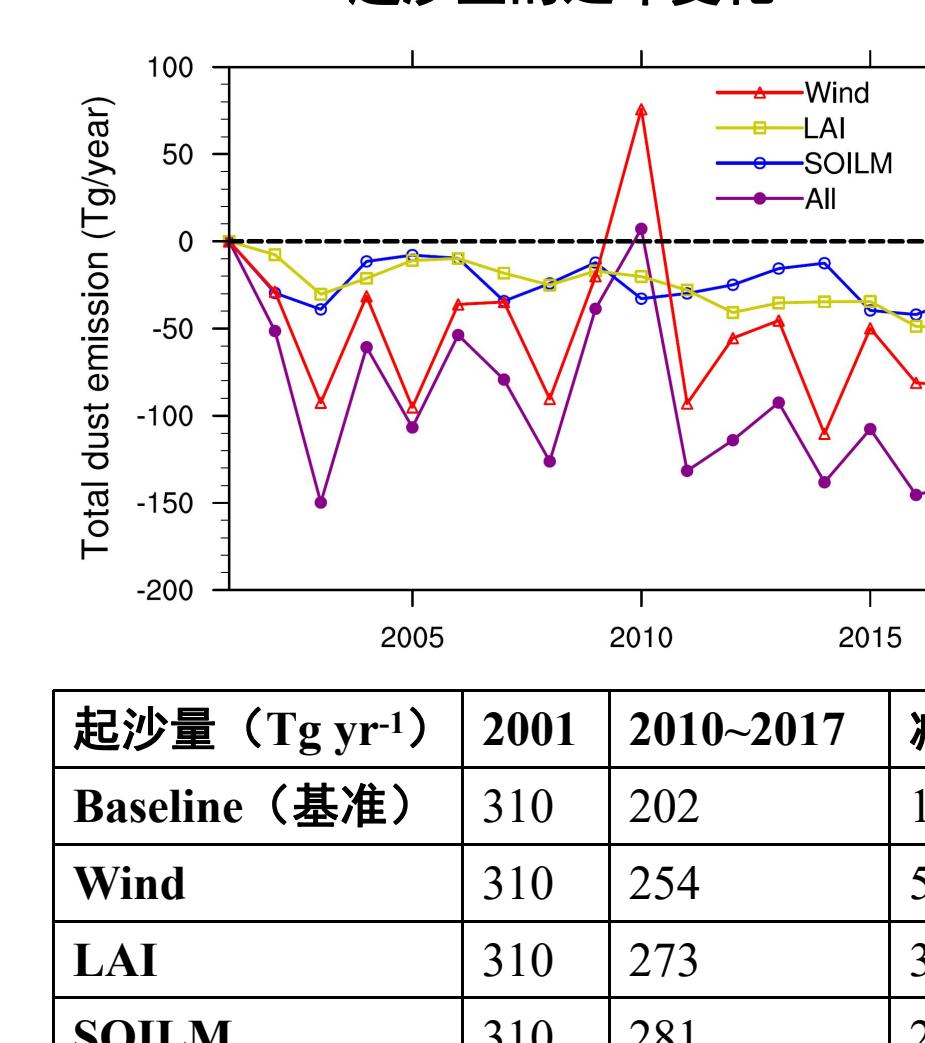


- 风速减弱: 造成了东部源区年平均起沙通量呈减小趋势；

- 植被覆盖增加: 有效降低了起沙通量, 在大部分地区的作用都较显著；

- 土壤变湿: 大部分区域土壤湿度增加, 特别是蒙古国和我国内蒙古东部。

起沙量的逐年变化



- 风速变化导致起沙量呈减弱趋势, 同时伴随着极大的年际变化；

- 植被变化、土壤湿度年际变化较小, 表现为逐渐减弱的趋势；

- 2010~2017年相比于2001年, 风速减弱对起沙量减少贡献最大, 植被增加、土壤变湿也有关键作用

结论与讨论

- 发展了一个**基于风蚀物理学的起沙模型**, 模型较好地再现了2001~2017年东亚沙尘活动的时空变化特征；
- 过去近20年沙尘活动的原因:** 主要原因为风速减弱, 贡献46%, 而植被增加、土壤变湿也有关键作用, 分别贡献30%、24%。
- 气象要素变化是近20年沙尘活动减弱的主要驱动因子:** 风速主要受大气环流控制, 土壤湿度主要受降水和蒸散发影响, 而植被覆盖很大程度上决定于温度和降水。

论文信息: Wu, C., Lin, Z., Shao, Y. et al. Drivers of recent decline in dust activity over East Asia. *Nature Communications*, 13, 7105 (2022).