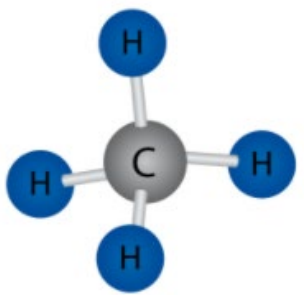
西湖大學
WESTLAKE UNIVERSITY

温室气体甲烷和碳污协同控制初探

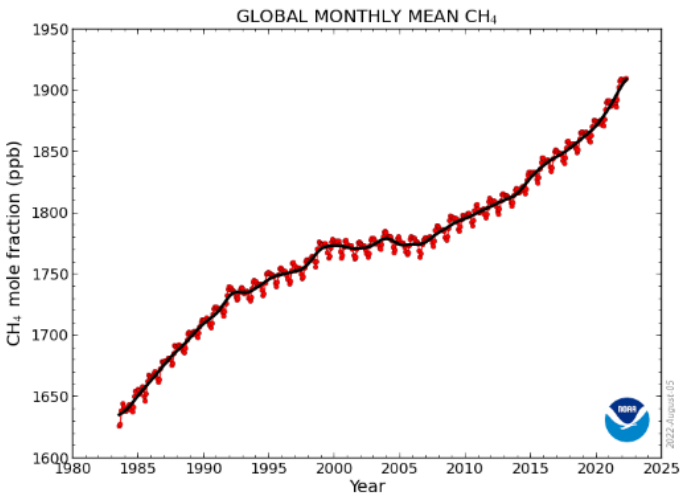
张 羽 中
zhangyuzhong@westlake.edu.cn



第五届大气臭氧污染防治研讨会　武汉 2023.5.31

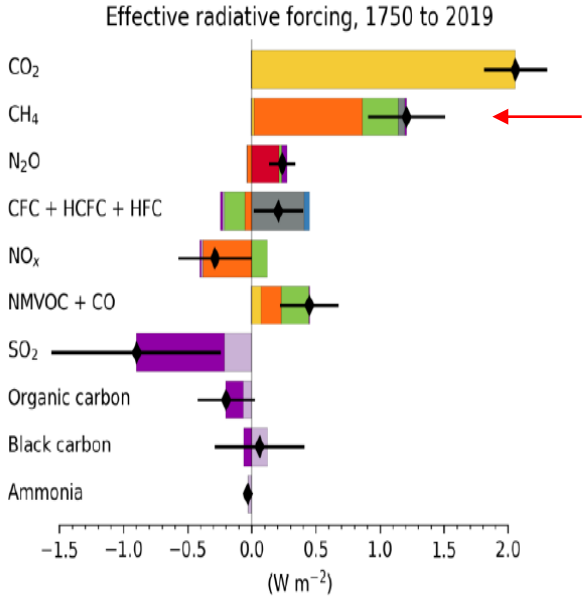
温室气体甲烷

Greenhouse gases in last 40 years



https://gml.noaa.gov/ccgg/trends_ch4/

Radiative forcing since industrialization



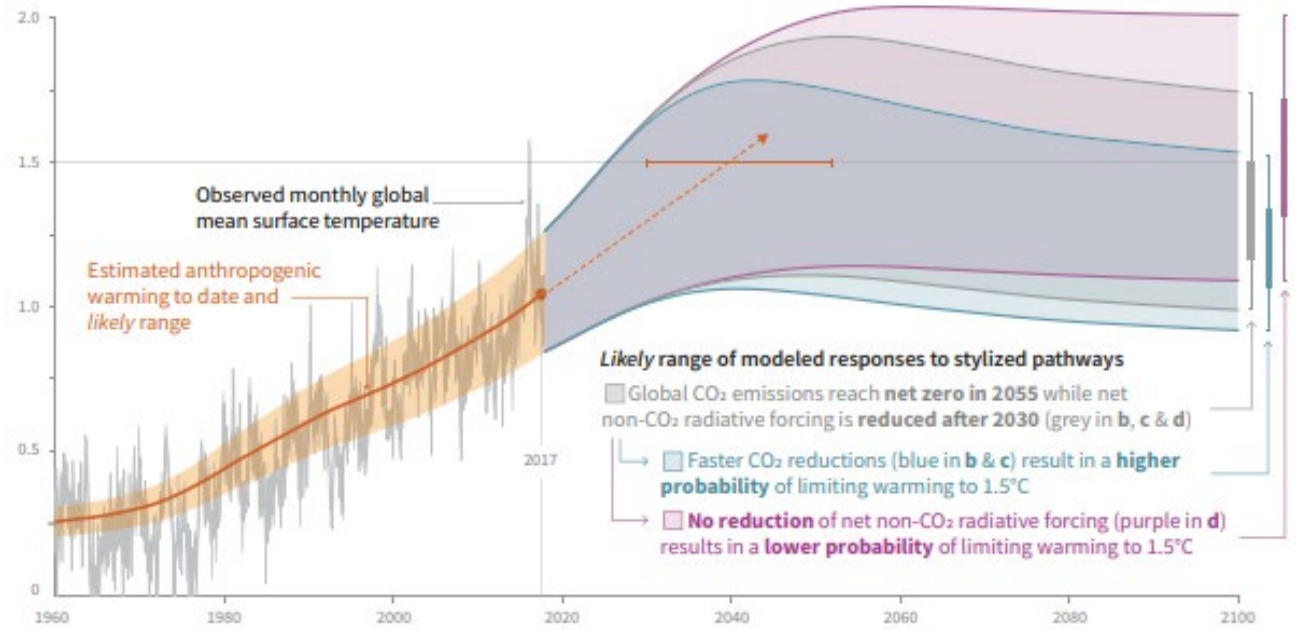
IPCC AR6 2021

全球升温潜势
Global Warming Potential

单位质量甲烷吸收红外能量的能力是二氧化碳的30倍（100年尺度）

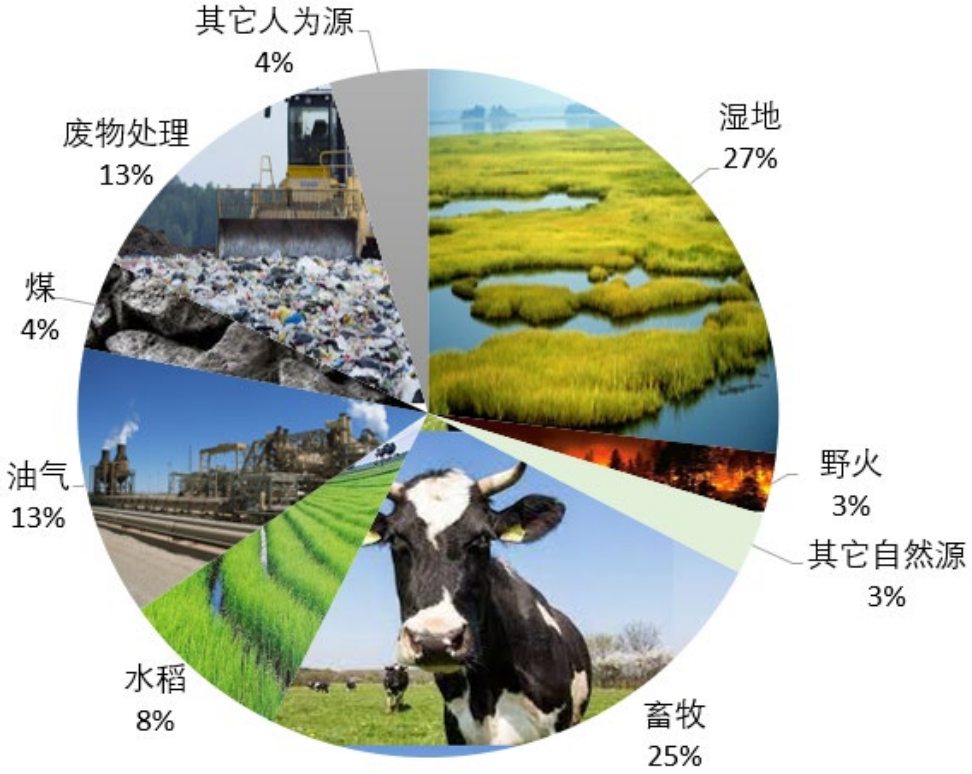
甲烷(非CO_2温室气体)减排的必要性

CO_2减排的补充　　较强短期气候收益



IPCC, 2018

大气甲烷排放来源



~ 550 Tg a^{-1}
(百万吨/年)

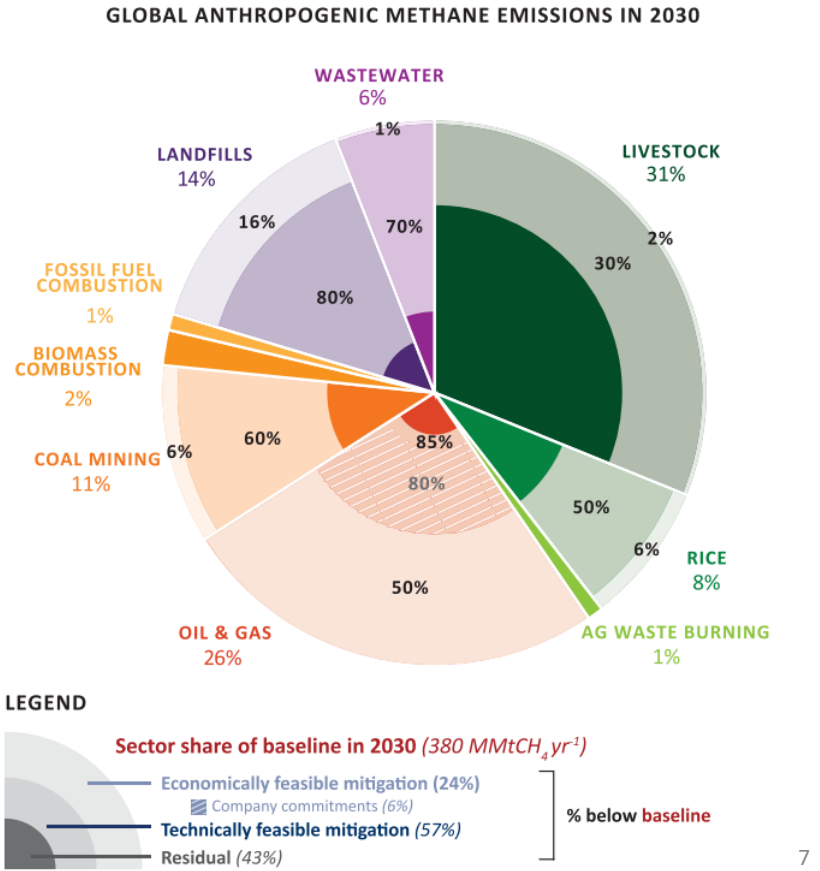
Based on bottom-up inventories

甲烷减排

- 能源生产部门被人为有较大的减排潜力和动力
- 农业部门、废物处理减排难度较大，但大幅度减排仍是技术可行的

甲烷减排和大气污染控制是否有协同效应?

Ocko et al., ERL, 2021



甲烷与对流层臭氧生成

$$CH_4 + OH \rightarrow CH_3 + H_2O$$

$$CH_3 + O_2 + M \rightarrow CH_3O_2 + M$$

$$CH_3O_2 + NO \rightarrow CH_3O + NO_2$$

$$CH_3O + O_2 \rightarrow CH_2O + HO_2$$

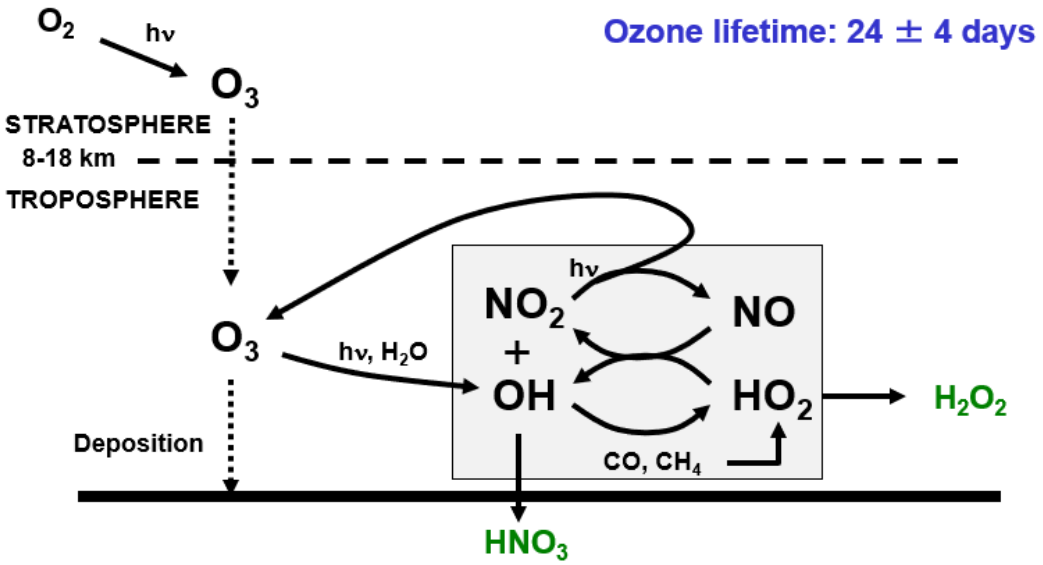
$$HO_2 + NO \rightarrow OH + NO_2$$

$$NO_2 + h\nu \xrightarrow{O_2} NO + O_3$$

$$CH_2O + OH \xrightarrow{O_2} CO + HO_2 + H_2O$$

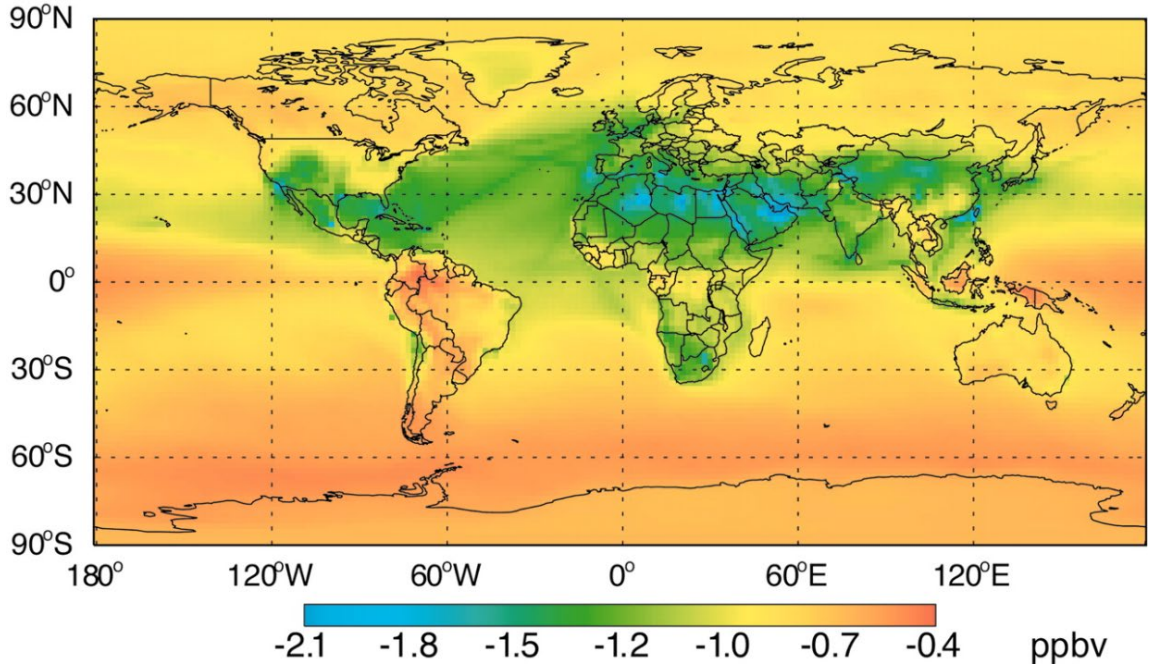
$$CO + OH \xrightarrow{O_2} CO_2 + HO_2$$

Net: $CH_4 + 8O_2 \rightarrow CO_2 + 4O_3 + 2H_2O$



甲烷减排降低地面臭氧背景浓度

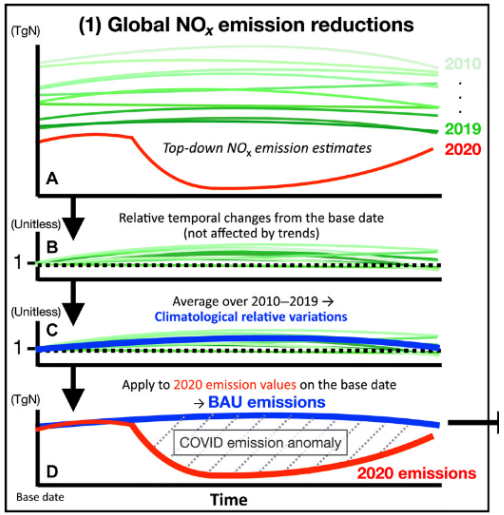
全球降低65百万吨/年甲烷排放可降低人口加权8h最大臭氧1.16 ppbv



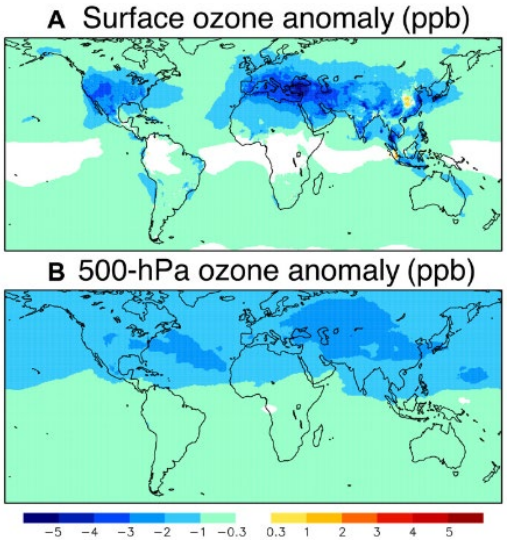
West et al., PNAS, 2006

大气污染物减排对甲烷大气寿命的影响

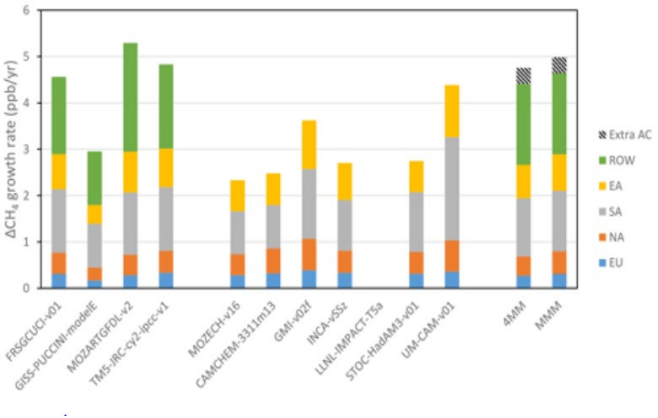
2020新冠人为源
排放下降



北半球臭氧浓度下降



甲烷大气寿命延长
甲烷浓度快速上升



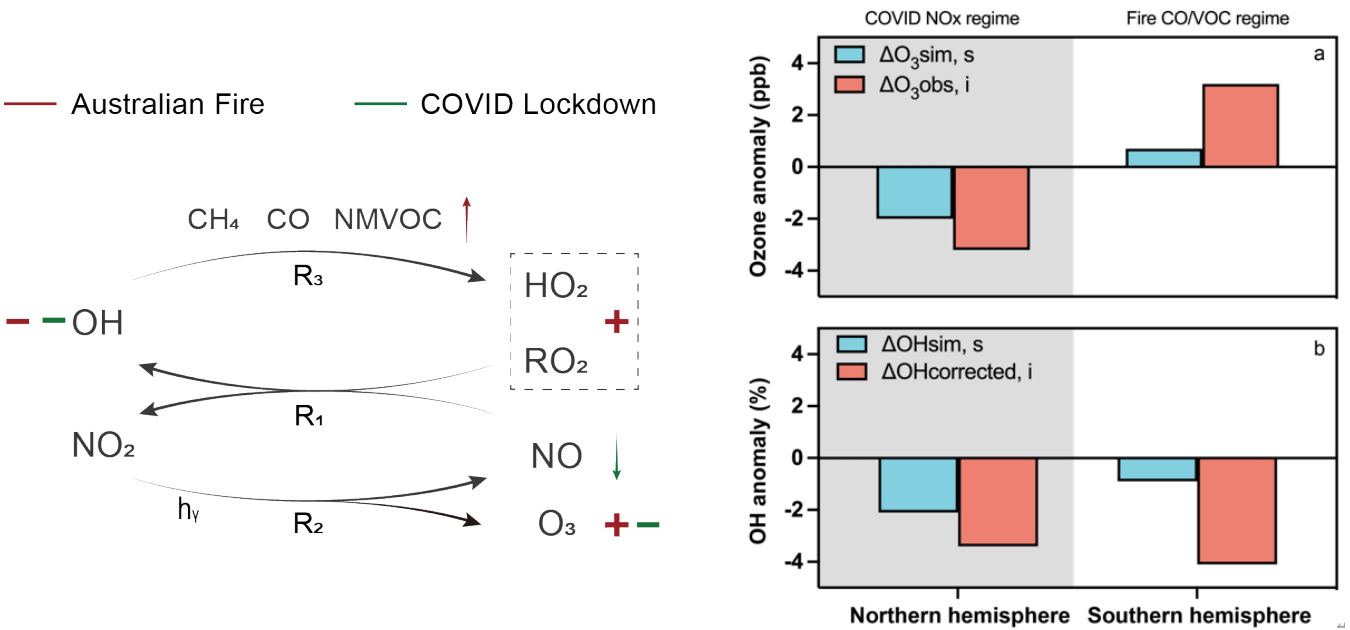
Miyazaki et al., Sci. Adv., 2021

Stevenson et al., ACP, 2022

2020年甲烷大气寿命波动驱动因素

陈维

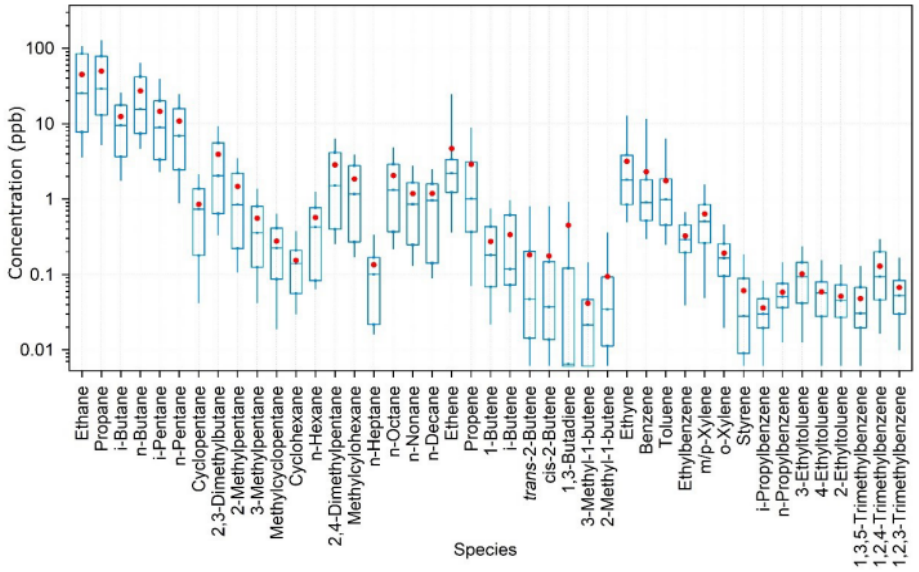
除了新冠导致的人为源排放下降，南半球野火的极端事件也是影响2020年大气氧化性波动的因素



Chen et al., in review

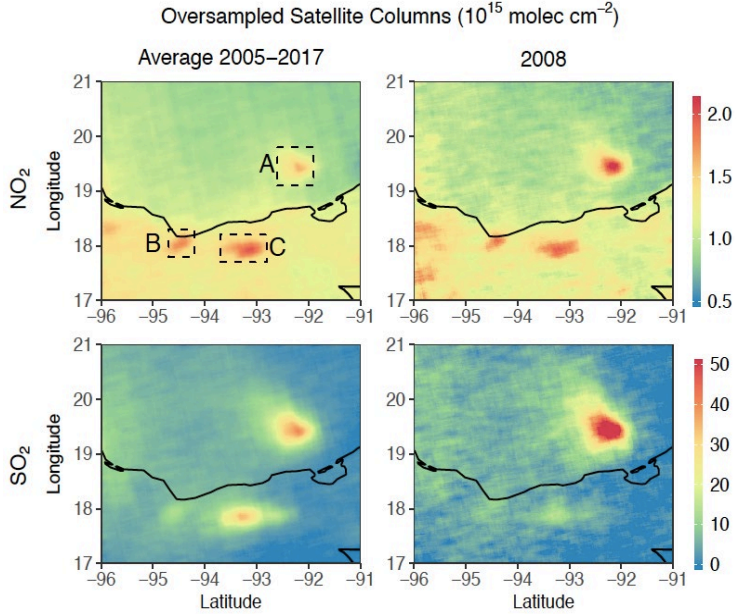
石油甲烷排放与VOC、NOx、颗粒物排放

油气生产排放各类VOC



Chen et al., ACP, 2020

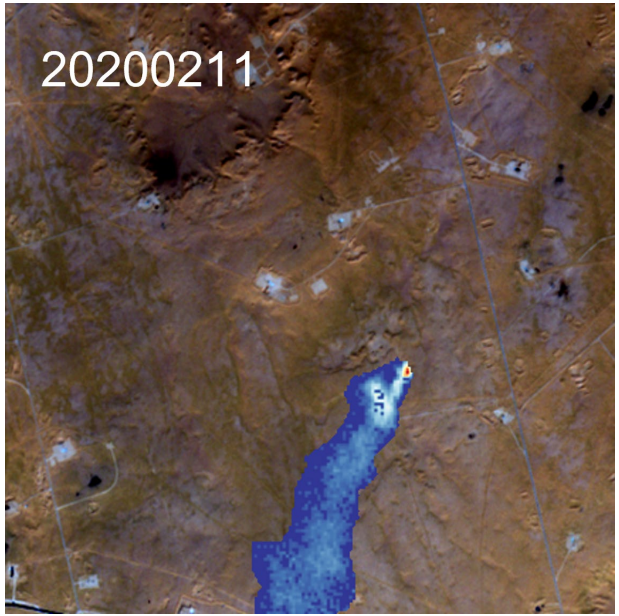
火炬燃烧排放NOx, SO_2, BC等



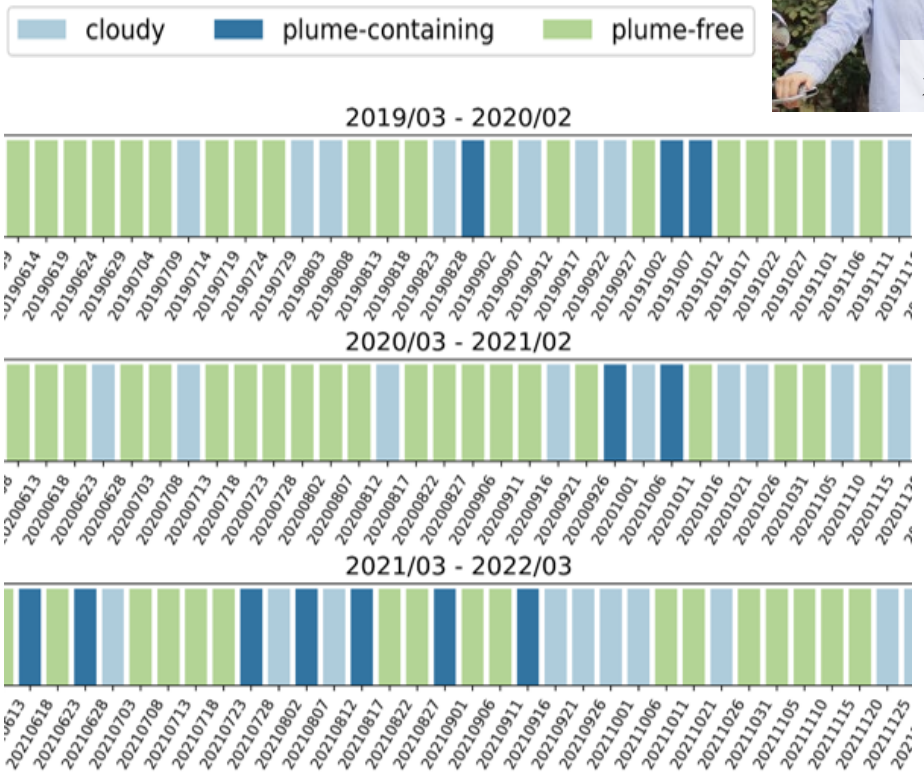
Zhang et al., GRL, 2019

油气生产 火炬燃烧 vs. 放空

燃烧：NO_X，颗粒物
放空：甲烷

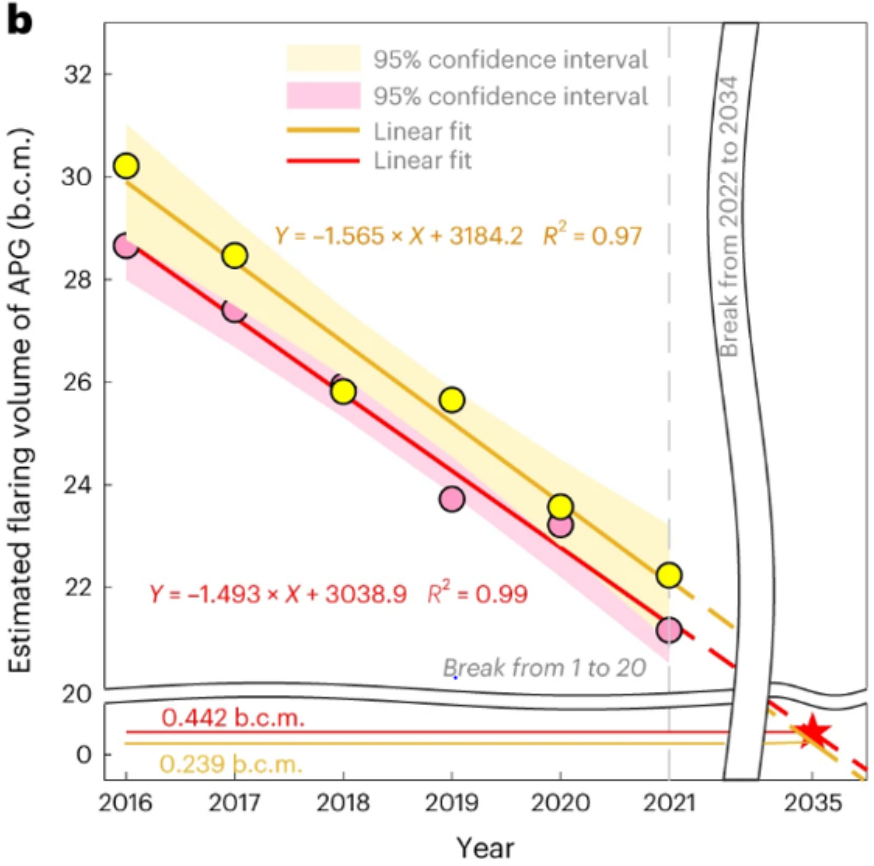


卫星甲烷点源探测



Zhao et al., in prep

全球天然气火炬削减计划



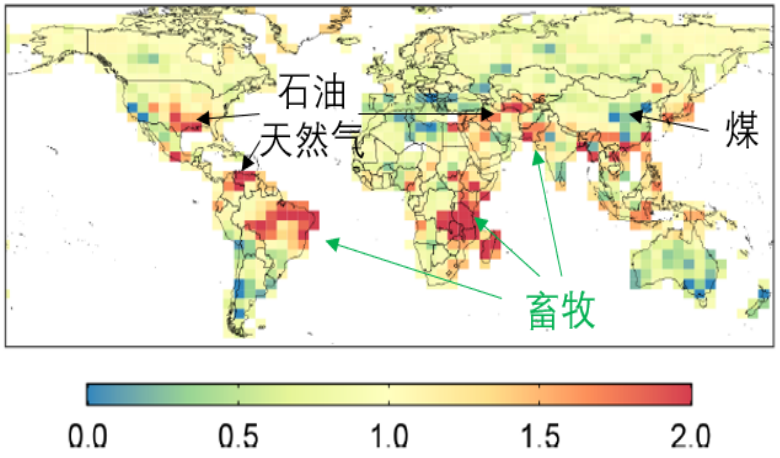
- 2030年前停止所有非必要的火炬活动
- 全球离岸油气生产火炬活动逐年降低
- 但降低幅度低于计划（预计落后5年）

Liu et al., Nature Sustainability, 2023

全球畜牧业甲烷总量被低估、上升趋势显著

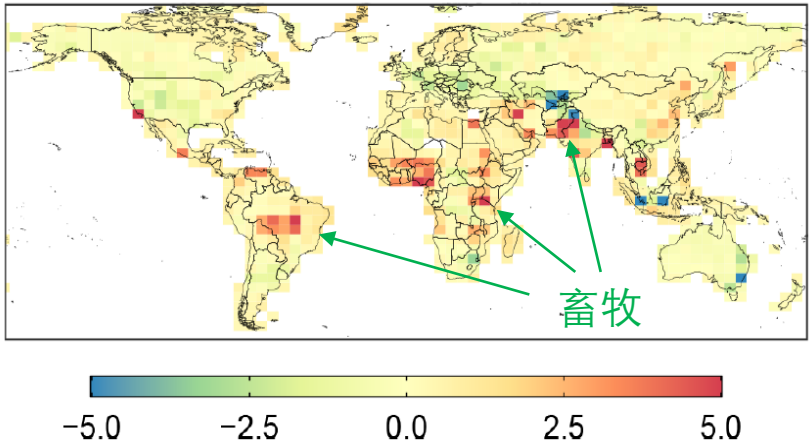
卫星甲烷排放反演结果

人为源后验排放/先验排放比例



- 南亚、东非、南美畜牧排放低估
- 北美、中亚、拉美油气排放低估
- 中国煤炭排放高估

2010-2018人为源甲烷排放增长率（%）

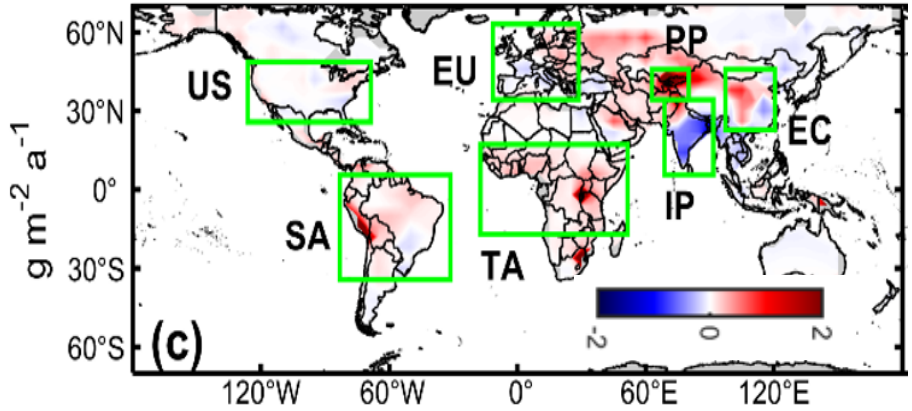


- 南亚、东非、南美畜牧甲烷排放上升显著

畜牧NH_3–CH_4排放联合分析

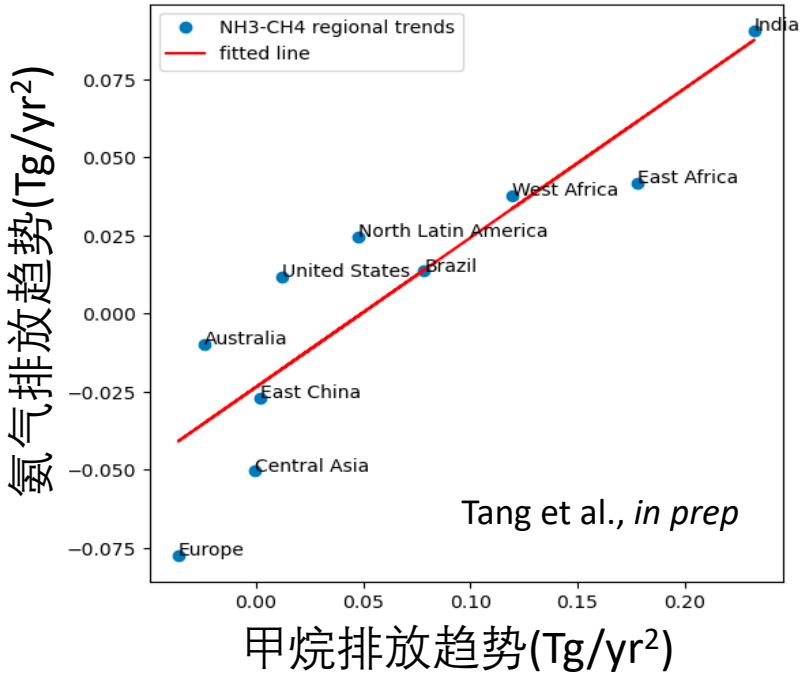
2008-2018 IASI卫星 NH3浓度分析

卫星观测对NH3排放的校正

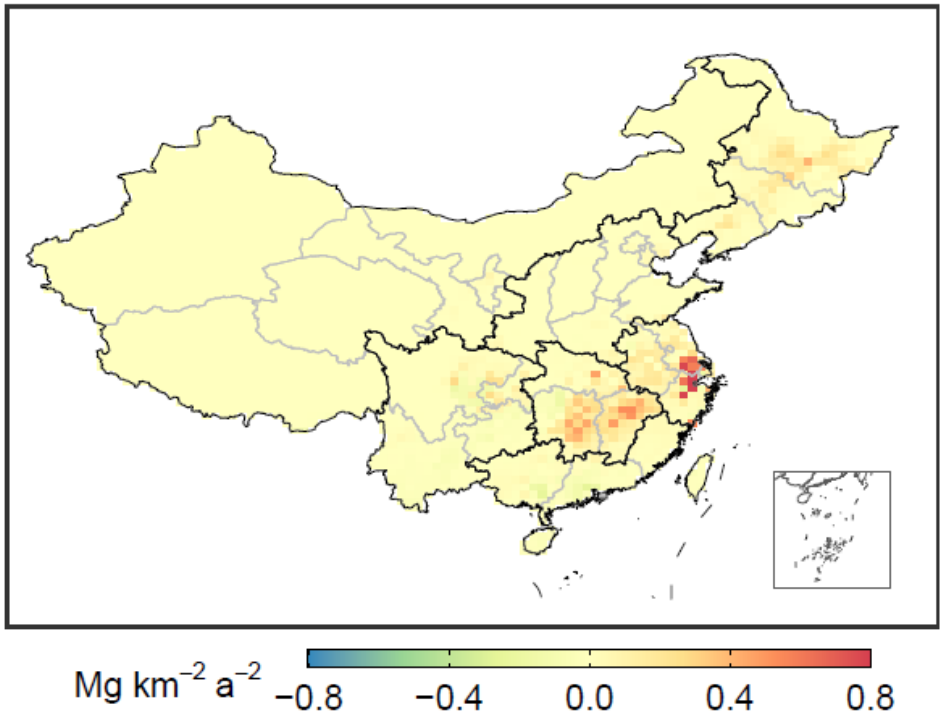


Luo et al., *ACP*,2022

非洲、南亚、南美畜牧甲烷、氨气排放有较高的同源性



中国水稻甲烷排放趋势



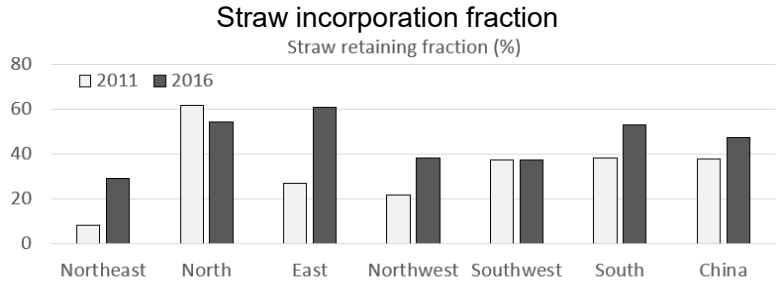
Zhang et al., PNAS, 2022

Unexpected

- 所有清单都估计了接近0的趋势
- 华东、华中水稻种植面积无明显变化

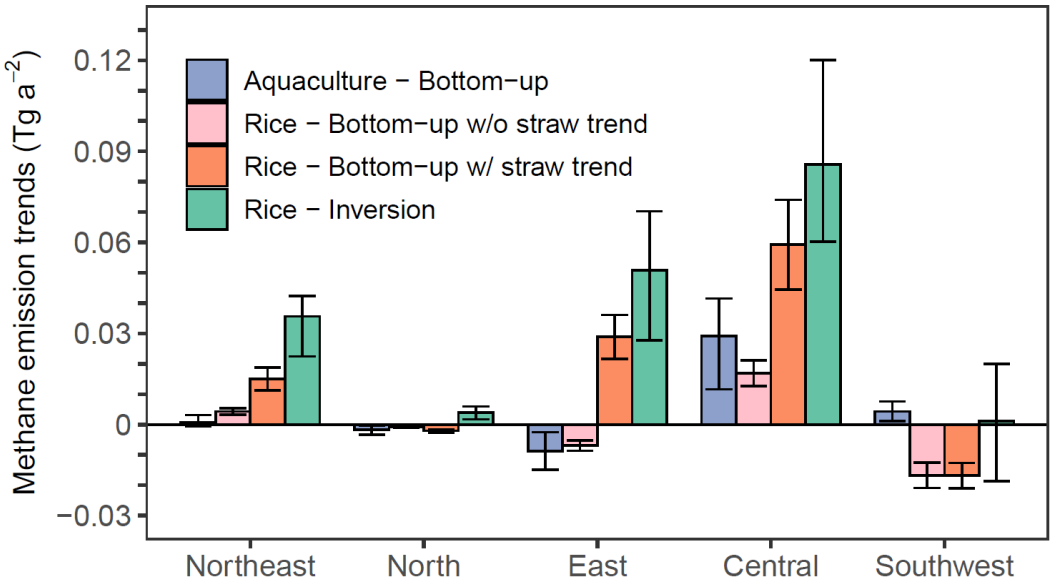
假设

1. 水产养殖扩张 (空间上与水稻种植重叠)
2. 秸秆还田增加 (增加了土壤有机质)



2011 张国等；2016 石祖梁等

水稻种植 秸秆还田 vs. 秸秆燃烧



Zhang et al., PNAS, 2022

秸秆还田增加有可能解释观测到的排放变化

→作物产量↑

→秸秆燃烧污染↓

→**甲烷排放↑**

- 政策副作用值得评估
- 抑制甲烷排放的还田方式值得推广

西湖大學
WESTLAKE UNIVERSITY

总 结

- 甲烷是强势的温室气体，控制甲烷排放是减缓全球变暖的必要措施。
- 甲烷减排与大气污染控制的关系目前认识仍较欠缺。
- 降低大气甲烷浓度可降低臭氧背景浓度。
- 油气、农业部门有一定甲烷-大气污染物协同减排的潜力。