

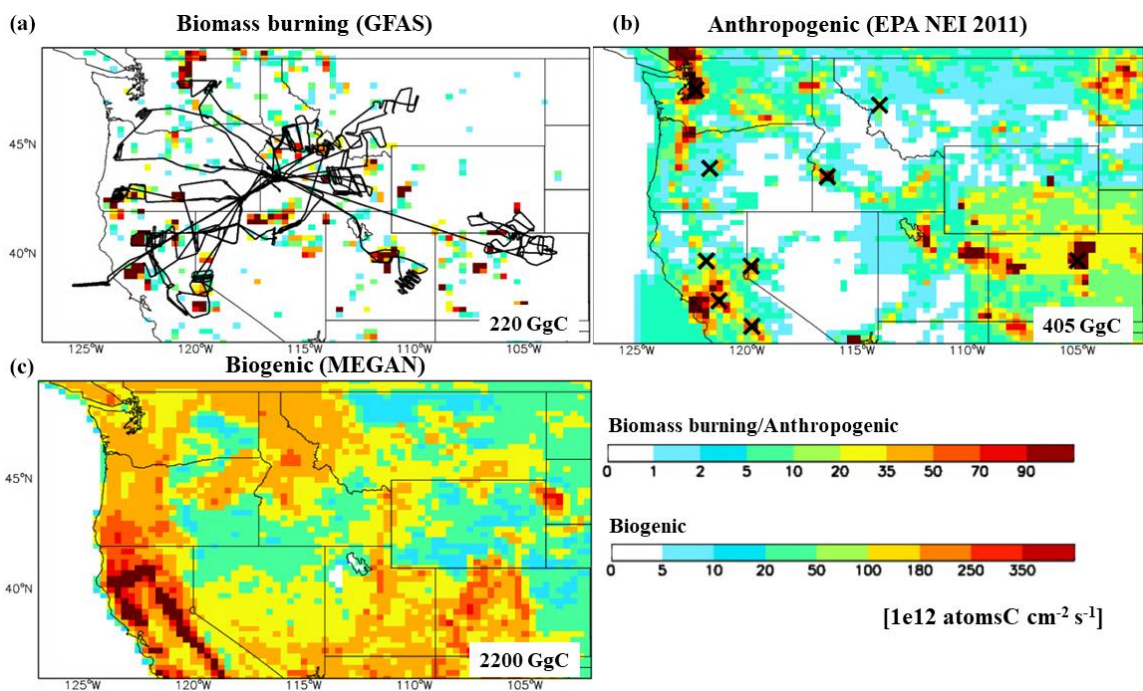
飞机观测显示模式 少算了野火释放的 CO 和 VOCs

清单找到了这些大火却少算了它们释放的气体

Jin et al. (2023) | Atmospheric Chemistry and Physics

野火烟雾预报往往从卫星观测开始。卫星能告诉我们哪里在燃烧，但排放清单还要估算烧掉了多少植被，以及释放了多少一氧化碳（CO）和挥发性有机物（VOCs）。为了检验这些估算是否可靠，我们结合两次大型飞机观测项目和美国西部地面站的 CO 记录，看看模式算出的 CO 和 VOCs 是否接近实际观测。

结果显示，三套清单都找到了 WE-CAN 飞机采样烟羽所对应的大型火灾。主要问题不是漏掉了火，而是少算了这些火释放的 CO 和多种 VOCs；模式纳入的 VOCs 也只覆盖了飞机实测的一部分。



飞机和地面站观测从不同角度检验了由三套卫星火灾排放清单驱动的 GEOS-Chem 模拟。

Jin et al. (2023), Fig. 1, CC BY 4.0.

我们怎样检验模式：我们分别用 GFED4s、GFAS 和 QFED 三套清单驱动 GEOS-Chem，再将模拟结果与 WE-CAN 2018 和 FIREX-AQ 2019 飞机观测的 CO 和 VOCs 进行比较。此外，我们还用美国西部 9 个地面站的日均 CO，检查这种低估是否也出现在覆盖范围更广、时间更长的地面记录中。

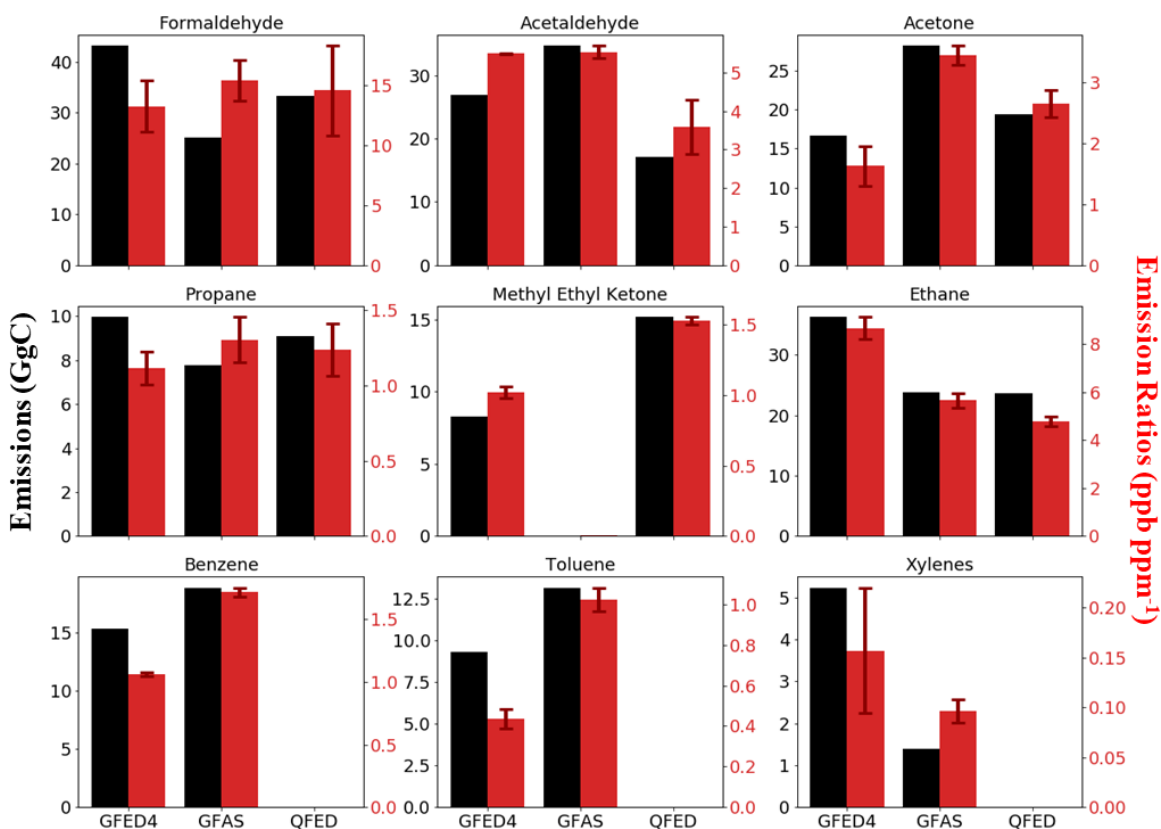
总量接近不代表化学组成相同

VOCs 总量相近但单种化合物的排放估算最多相差 5 倍

模式中的 14 类 VOCs 总量相近，单种化合物的估算却可相差 5 倍。

把 GEOS-Chem 中表示的 14 类 VOCs 加总后，三套清单对 2018 年美国西部火季的排放估算只相差约 30%到 40%。但分到单种化合物，估算值最多可相差 5 倍。

这些差异主要是因为各套清单采用了不同的排放比和 VOCs 组分设定。换句话说，同样的燃烧植被，在不同清单中也可能对应不同的 VOCs 组合。这与火灾有没有被识别、总排放量够不够，是两个不同的问题。不同 VOCs 的反应速度和产物各不相同，因此会影响模式对臭氧和其他二次污染物的计算。



黑柱表示 2018 年美国西部火季各化合物的排放量，红柱表示相对 CO 的排放比。三套清单的总量看似接近，分到单种化合物后差异却很明显。

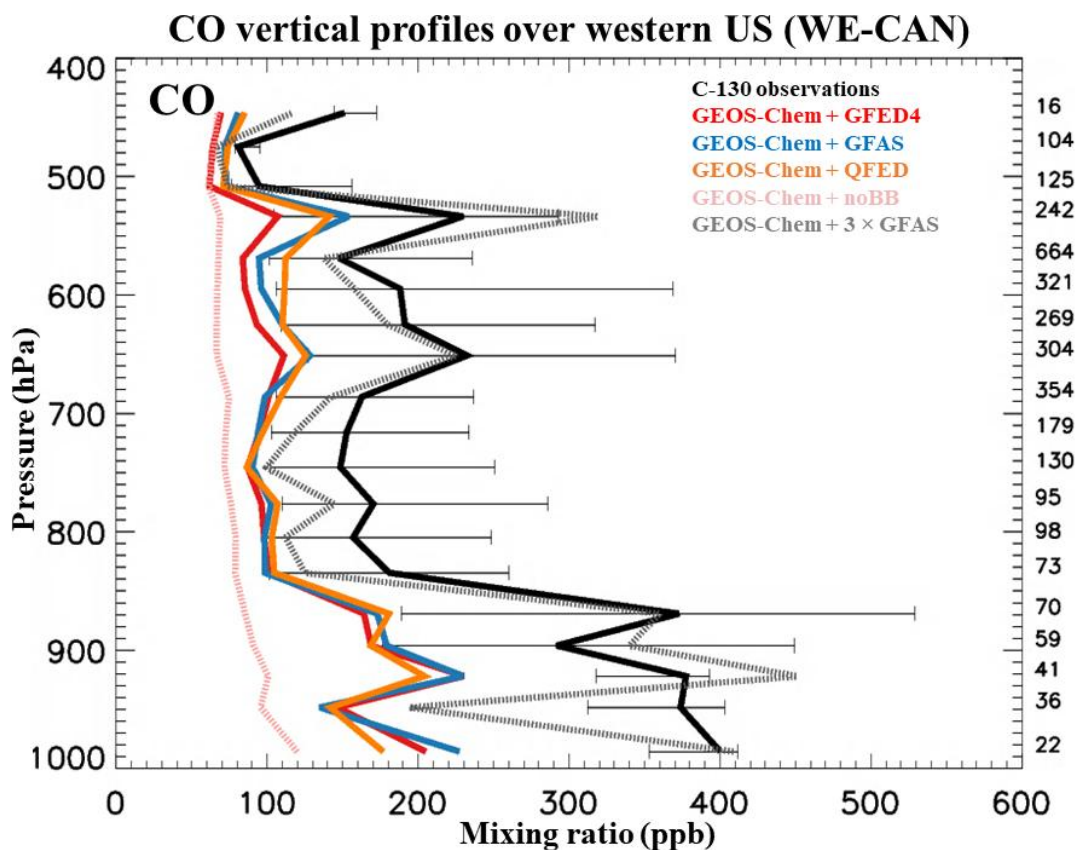
Jin et al. (2023), Fig. 2, CC BY 4.0.

接下来，飞机观测检验另一个问题：这些火灾虽然已经进入清单，模式算出的 CO 和 VOCs 到底够不够多？

火找到了但气体算少了

清单找到了火灾却少算了 CO 和直接排放的 VOCs

烟雾出现的时间和位置大体正确，气体增量却远低于飞机观测。



黑线是飞机观测，彩色线是三套标准模拟。灰线表示将火灾排放提高到 3 倍后的结果，此时模拟与观测之间的 CO 差距明显缩小。

Jin et al. (2023), Fig. 3, CC BY 4.0.

三套清单都识别到了 WE-CAN 飞机采样烟羽所对应的大型火灾，模拟也大体抓住了烟雾出现的时间和位置。但对 CO、丙烷、苯和甲苯，模式算出的火灾相关增量只有相应飞机观测增量的约 14%到 33%。也就是说，问题主要不是漏掉了火灾，而是被识别到的火灾排放量太低。

飞机会有意穿过狭窄而浓厚的烟羽，而模式网格无法完全分辨这些细节。为了尽量减小这一影响，我们关注整场观测的平均结果和与烟雾相关的增量，而不是某一次烟羽穿越的浓度峰值。随后又用地面站记录和另一次飞机观测，检查这种低估是否只出现在 WE-CAN 的烟羽穿越中。

为了检验排放量能否解释这些偏差，我们把模式中的火灾排放调高，看看哪些气体会更接近观测。

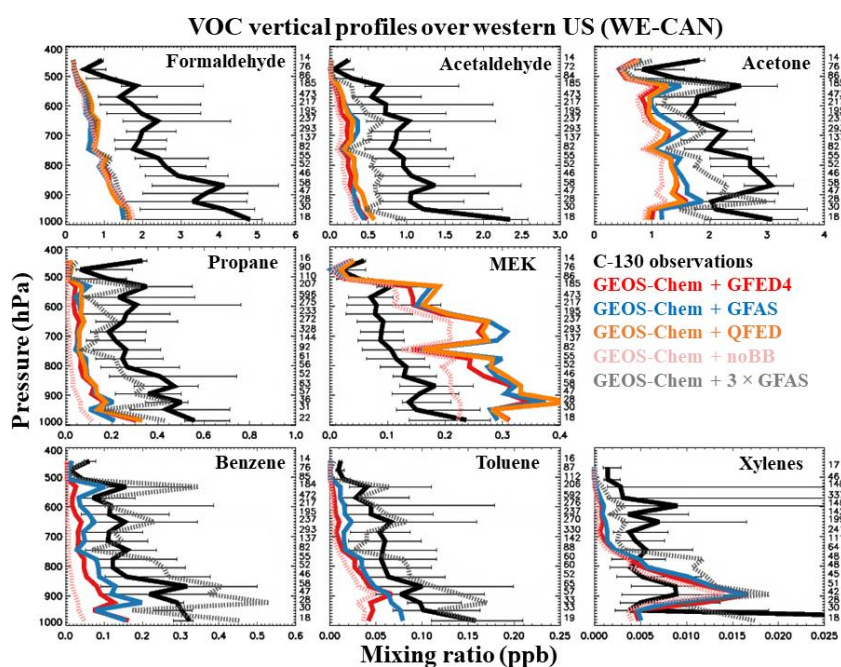
同一个调整带来了两种结果

火灾排放提高到 3 倍后多种含氧 VOCs 仍然偏低

把火灾排放提高到 3 倍后，CO 和多种直接由火灾排放的 VOCs 更接近观测，但几种含氧 VOCs 仍然明显偏低。

将 GFAS 火灾排放提高到 3 倍后，CO、丙烷、苯和甲苯的模拟值都明显更接近飞机观测。结合对火灾识别、烟羽高度、排放比、燃料消耗和地面 CO 的多项检验，证据更支持这样的解释：清单虽然找到了火，却可能把这些火灾烧掉的植被量估低了。

含氧 VOCs 的表现却不一样。乙醛和丙酮有所改善，但甲醛仍然明显偏低，甲酸、乙酸和其他较大的醛类也变化不大。这组结果提示，模式可能低估了烟雾中含氧 VOCs 的二次生成；原因可能是一些重要前体物的排放没有纳入模式，也可能是相关化学反应描述得不够完整。



把火灾排放提高到 3 倍后，直接排放的 VOCs 更接近观测，但甲醛仍然偏低。这一差异表明，模式可能还低估了部分含氧 VOCs 的二次生成。

Jin et al. (2023), Fig. 4, CC BY 4.0.

怎样理解 3 倍试验：这项试验用于诊断偏差来源，并不是适用于所有火灾的修正系数。由于模式无法完全解析狭窄烟羽，这里采用的 3 倍调整应视为这些美国西部案例中排放低估程度的上限估计。

接下来，另一次飞机观测和地面站记录提供了独立检验。

换个年份和观测平台仍能看到同样的偏差

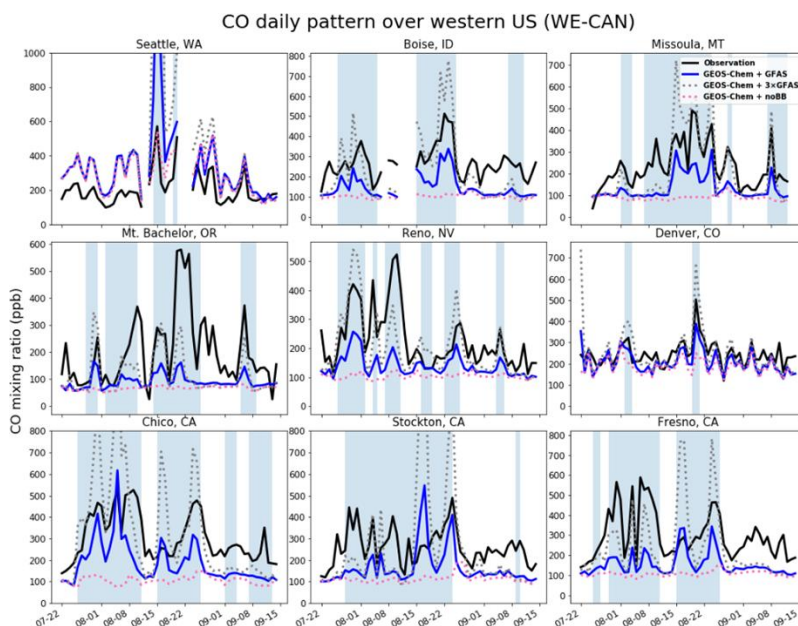
飞机和地面观测都显示模式中的火灾排放偏低

在 7 个受野火影响较明显的站点，模式同样明显低估了 CO。

我们还比较了美国西部 9 个地面站的日均 CO。在受野火影响较明显的 7 个站点，2018 年整个分析期内，基础模拟平均比观测低 95 到 140 ppb，烟雾影响日的差距更大。把火灾排放提高到 3 倍后，偏差有所减小；2019 年 FIREX-AQ 飞机观测也指向同样的结论。

火灾排放量只是问题之一。把各类 VOCs 相对 CO 的排放比加总后，GEOS-Chem 中的 14 类生物质燃烧 VOCs 只有飞机实测 161 种 VOCs 合计值的约一半。这里的“一半”不涉及质量、毒性或反应活性，只说明模式只表示了实测 VOC 混合物的一部分。

同时考虑火灾排放量偏低和 VOCs 种类不全后，我们估算，野火约占美国西部直接排放到大气中的 VOCs 总量的 45% (2018 年) 和 10% (2019 年)；标准 GEOS-Chem 中的相应比例仅为约 1%到 10%。



美国西部 9 个地面站的记录显示，标准模拟往往低估 CO；将火灾排放提高到 3 倍后，烟雾影响期的模拟通常更接近观测。

Jin et al. (2023), Fig. 8, CC BY 4.0.

清单大体找到了采样烟羽所对应的火灾，模拟也常能抓住烟雾出现的时间和位置；但模式仍少算了 CO 和直接排放的 VOCs，只表示了实测 VOC 混合物的一部分，也可能遗漏生成含氧 VOCs 的前体物排放或化学过程。

查看论文与开放资源: [ACP 原文](#) · [补充材料](#) · [后续公开数据](#) · [后续公开代码](#)