

- 第二届中国大气污染源排放清单技术研讨会
暨中国城市空气质量管理研讨会

京津冀区域源清单建立与典型源 高分辨率排放清单精细化研究

程水源 周颖

北 京 工 业 大 学

区域大气复合污染防治北京市重点实验室

2017.11.8 北京



主要内容

- 1 京津冀区域大气污染源清单建立**
- 2 城市尺度污染源排放清单校验探索**
- 3 典型污染源高分辨率排放清单精细化研究**

京津冀区域大气污染源清单建立

精细化表征 & 动态更新

完善排放源分类体系

- 三大类
- 八个亚类
- 二十余小类

存在形式	分类概述		
固定源	工业	电力 建材 冶金 化工 锅炉及其他	
	居民源	居民生活（化石燃料、餐饮）	
移动源	道路移动源	机动车（分车型、分标准）	
	非道路移动源	飞机 船舶 工程机械 农用机械 农用运输车	
无组织源	无组织扬尘	交通扬尘 施工扬尘 裸地扬尘 料堆扬尘 工艺无组织	
	VOCs排放	人为源	溶剂涂料 加油站 印刷及其他
		天然源	植物VOCs
	其他氨排放	人体氨排放 畜牧业氨排放 农业氨排放	
生物质燃烧	室内燃烧（秸秆、柴薪等） 室外焚烧（森林、草原火灾）		

京津冀区域大气污染源清单建立

精细化表征 & 动态更新

完善排放源分类体系

与多部门开展合作

· 环保 · 建设

· 统计 · 农业

· 交管 · 林业

污普、环统、其他...

源类别	基础数据	获取途径
工业源	企业位置、排气口参数、燃料消耗、产品产量等	环保
居民源（含生活、餐饮）	燃煤、燃油、燃气量，食用油消耗量	统计
道路移动源	分车型、分标准保有量、行驶里程	交管&抽样调查
非道路移动	燃油量、LTO、船舶基础数据、航迹数据等	统计
扬尘源	尘负荷、道路长度、交通流量、施工面积、裸地面积等	交管、建委、统计
VOCs挥发	溶剂涂料用量、汽柴油销售量等	统计
VOCs植物源	植被面积	林业
氨	农田面积、化肥用量、牲畜存栏量、人口、污水处理量等	农业、统计

京津冀区域大气污染源清单建立

精细化表征 & 动态更新

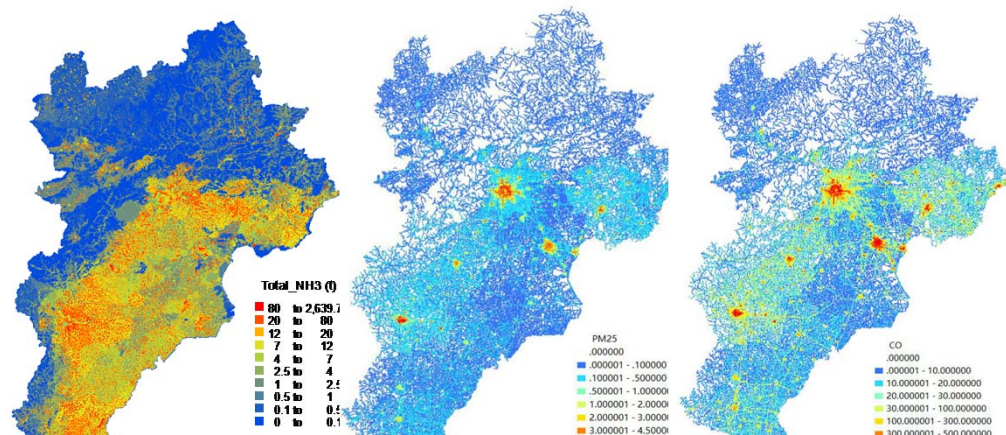
完善排放源分类体系

与多部门开展合作

多污染物、多物种

高时、空、物分辨率

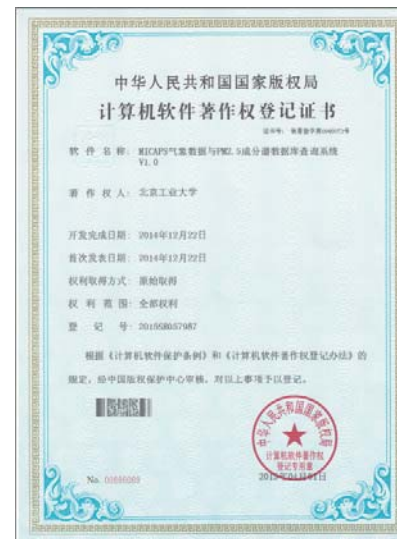
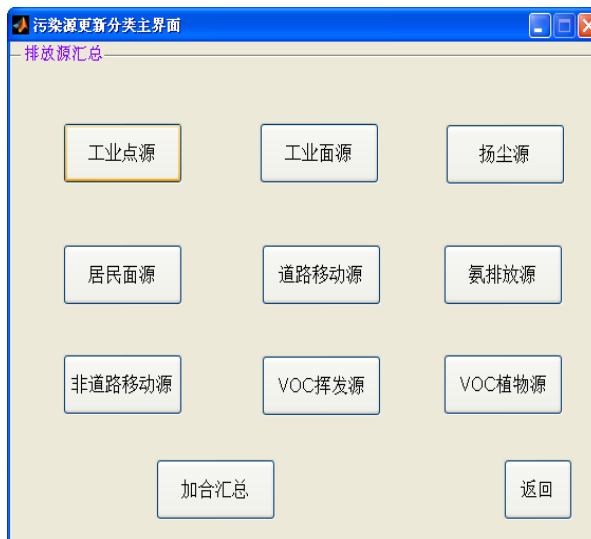
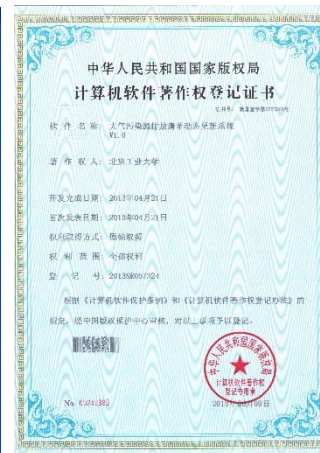
- 重点企业源均有**经纬度定位**;
- 其他源精细到**区县分辨率**;
- 时间分辨率可达**1h**;
- 含主要源**本地化成分谱**;
- 数据**持续更新** (~2016年) 。



多次为重大活动空气质量保障方案制定、
重污染天气应对决策提供支撑

京津冀区域大气污染源清单建立

精细化表征 & 动态更新



城市尺度污染源排放清单校验探索

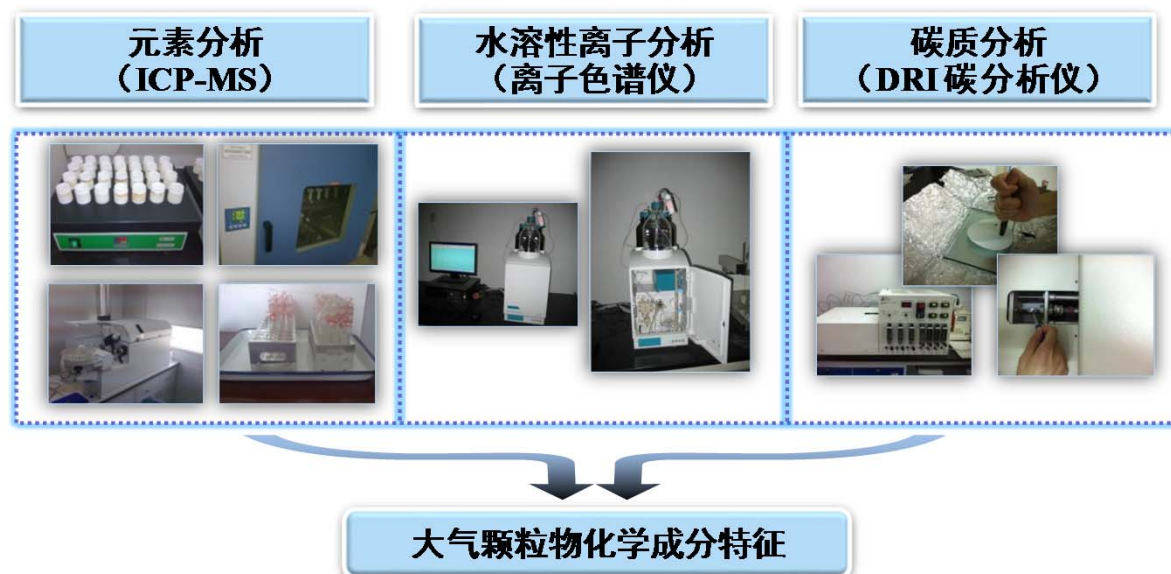
城市尺度典型行业排放对比评估

- 典型城市：唐山；
- 大气PM_{2.5}样品采集，2010年至今；
- PMF-CMB等综合PM_{2.5}来源解析
新技术方法¹；【一次PM_{2.5}来源】

受体模型解析

V.S.

数值模型模拟



¹ Cheng SY, Lang JL, et al., *Atmospheric Environment*, 2013

城市尺度污染源排放清单校验探索

城市尺度典型行业排放对比评估

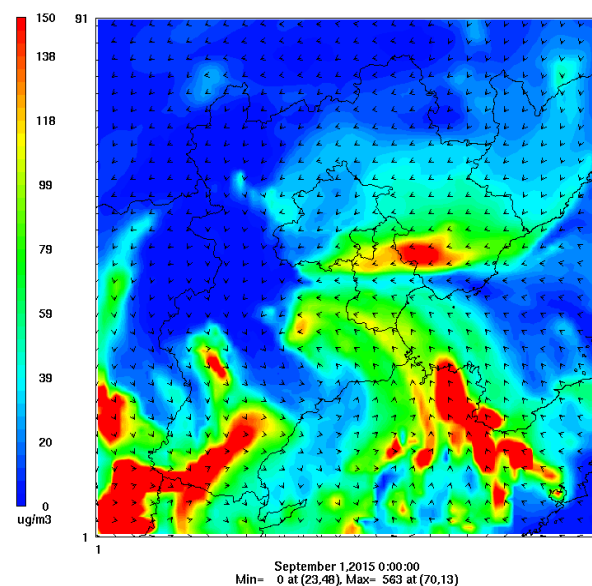
- 基于WRF-CMAQ；
- 两层嵌套模拟PM_{2.5}；
- 9km×9km，京津冀及周边地区；
- 3km×3km，覆盖唐山地区；
- Brute-Force，一次PM_{2.5}来源贡献。

受体模型解析

V.S.

数值模型模拟

两层嵌套模拟示意图

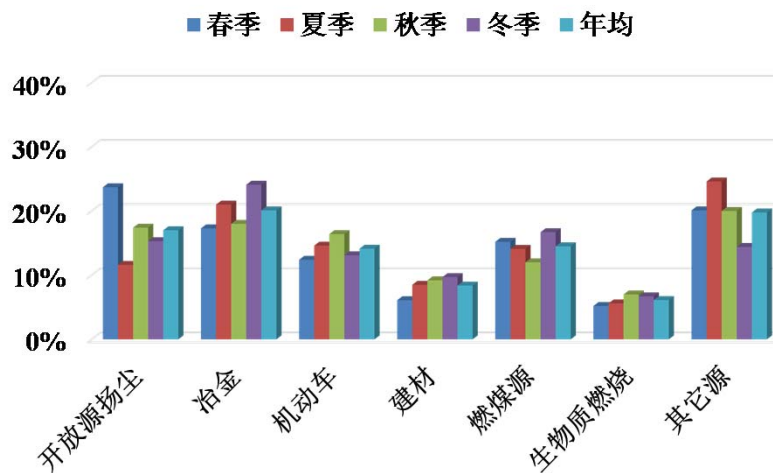
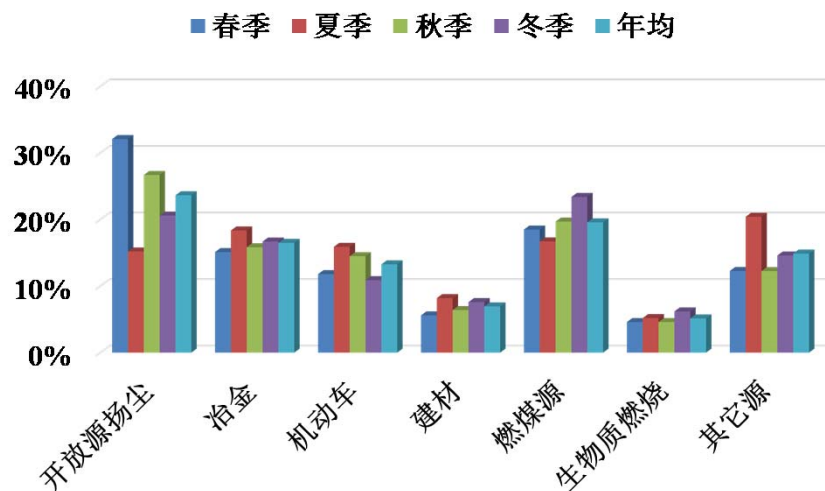


城市尺度污染源排放清单校验探索

受体模型解析

V.S.

数值模型模拟



唐山市开放源扬尘和燃煤源低估了35.0%-39.1%，冶金、机动车、建材和生物质燃烧高估了6.0%-17.9%。

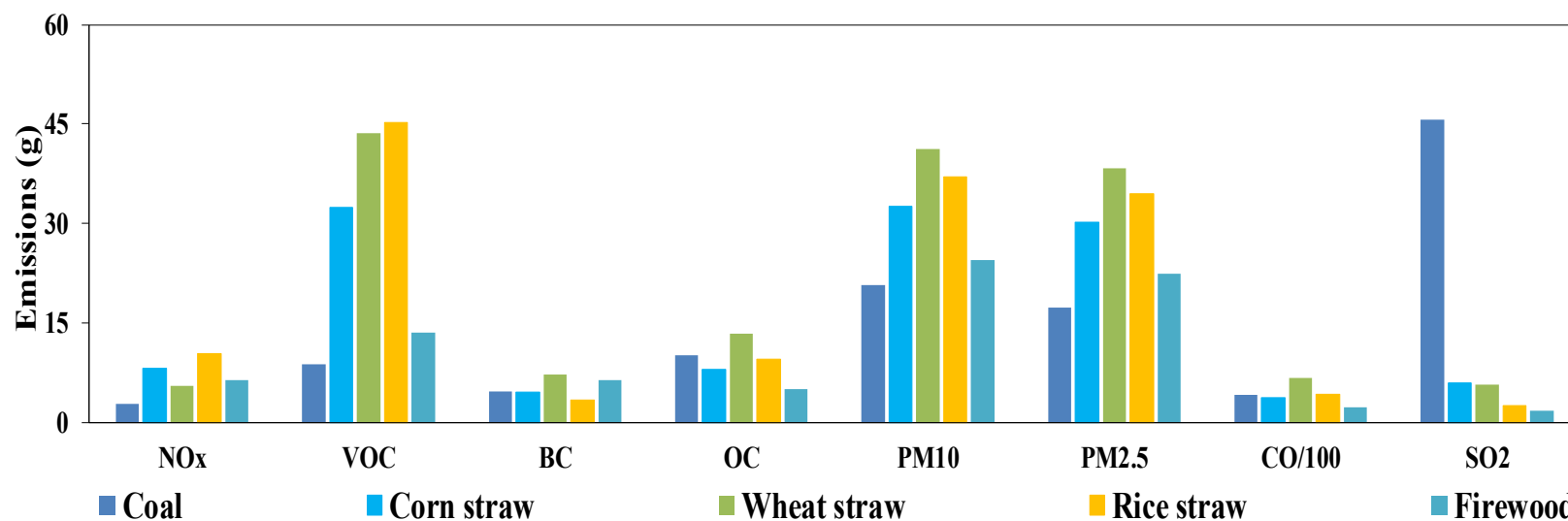
典型污染源高分辨率排放清单精细化研究

中国生物质燃烧排放清单

- ✓ 直接应用国外排放因子
- ✓ 排放因子本地化测试
- ✗ 排放清单不全面



V.S.

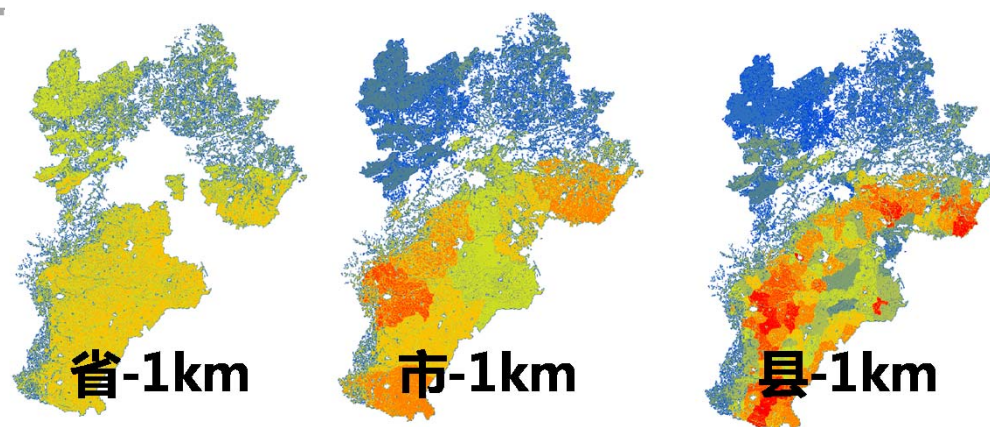


The emission from different rural fuels in terms of equal heat generation (15000kcal)

典型污染源高分辨率排放清单精细化研究

中国生物质燃烧排放清单

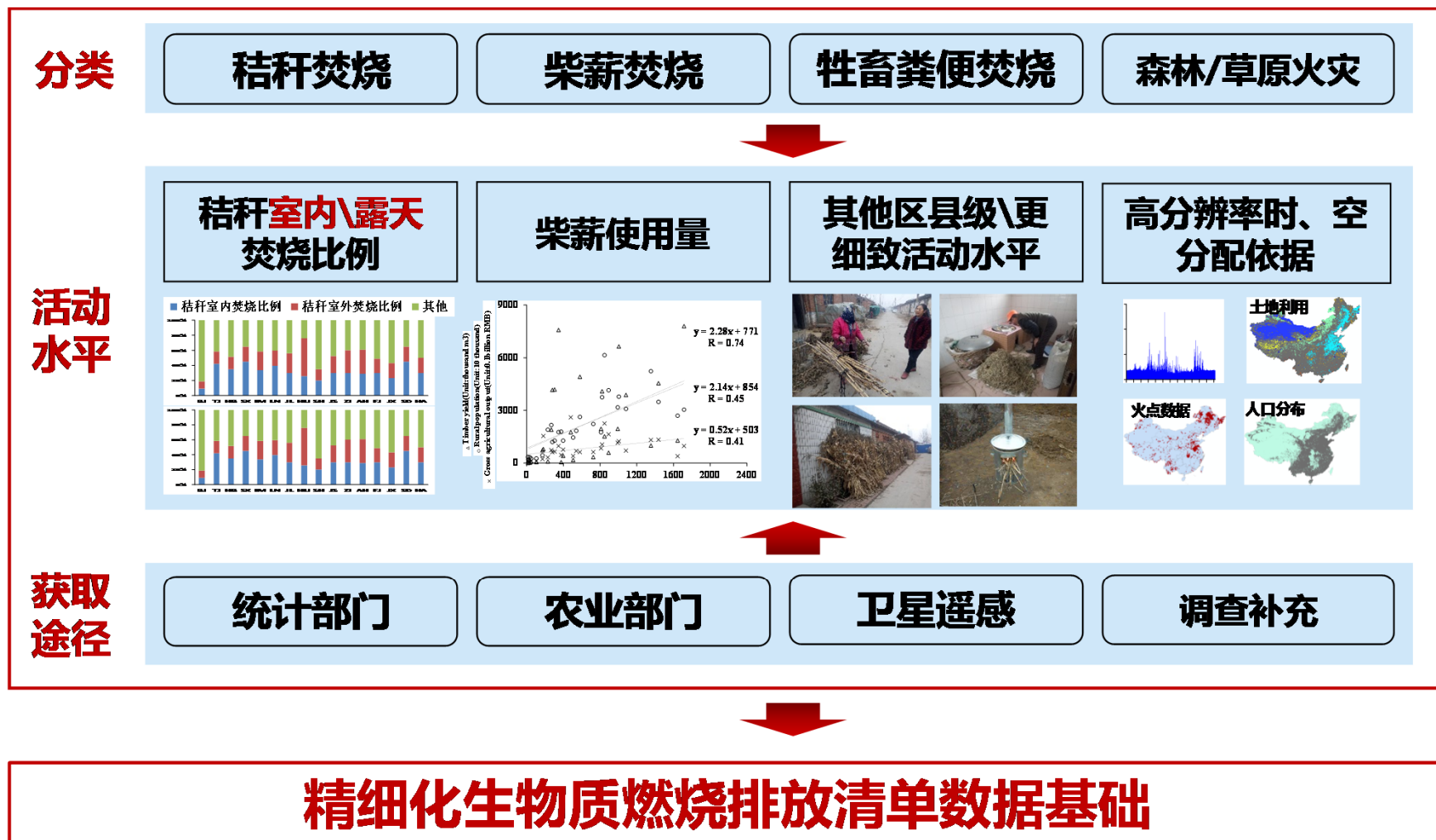
- ✓ 直接应用国外排放因子
- ✓ 排放因子本地化测试
- ✗ 排放清单不全面
- ✗ 空间分辨率低



- 排放因子更新
- 详细数据调研、收集
- 室内、露天（12类秸秆、柴薪、牲畜分辨、森林草原火灾）
- 中国、区县分辨率
- SO_2 , NO_x , PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ （含物种）, NMVOC （含物种）, NH_3 , CO , EC , OC , CO_2 , CH_4 , and Hg

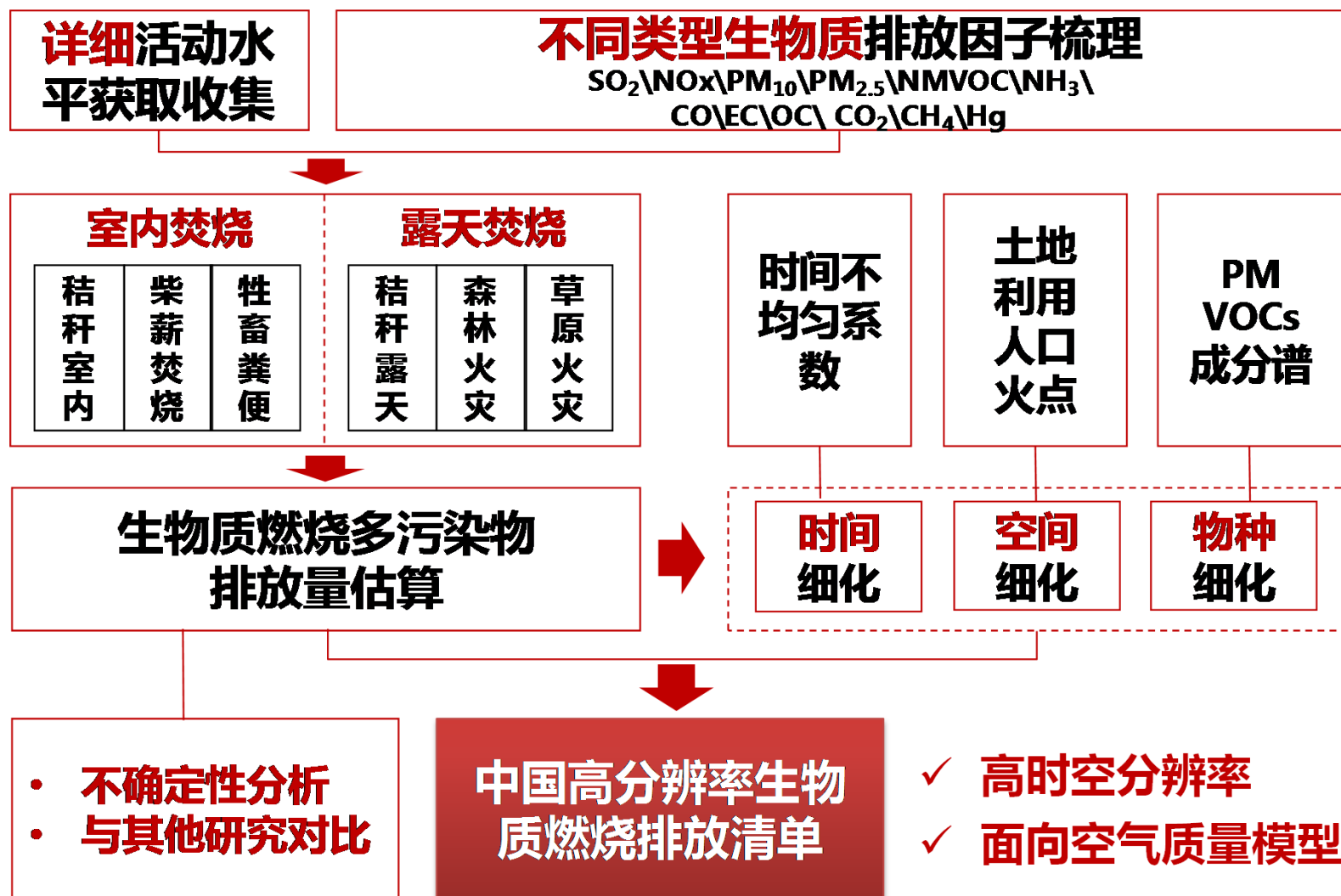
典型污染源高分辨率排放清单精细化研究

中国生物质燃烧排放清单——基础数据收集



典型污染源高分辨率排放清单精细化研究

中国生物质燃烧排放清单——精细化排放清单建立

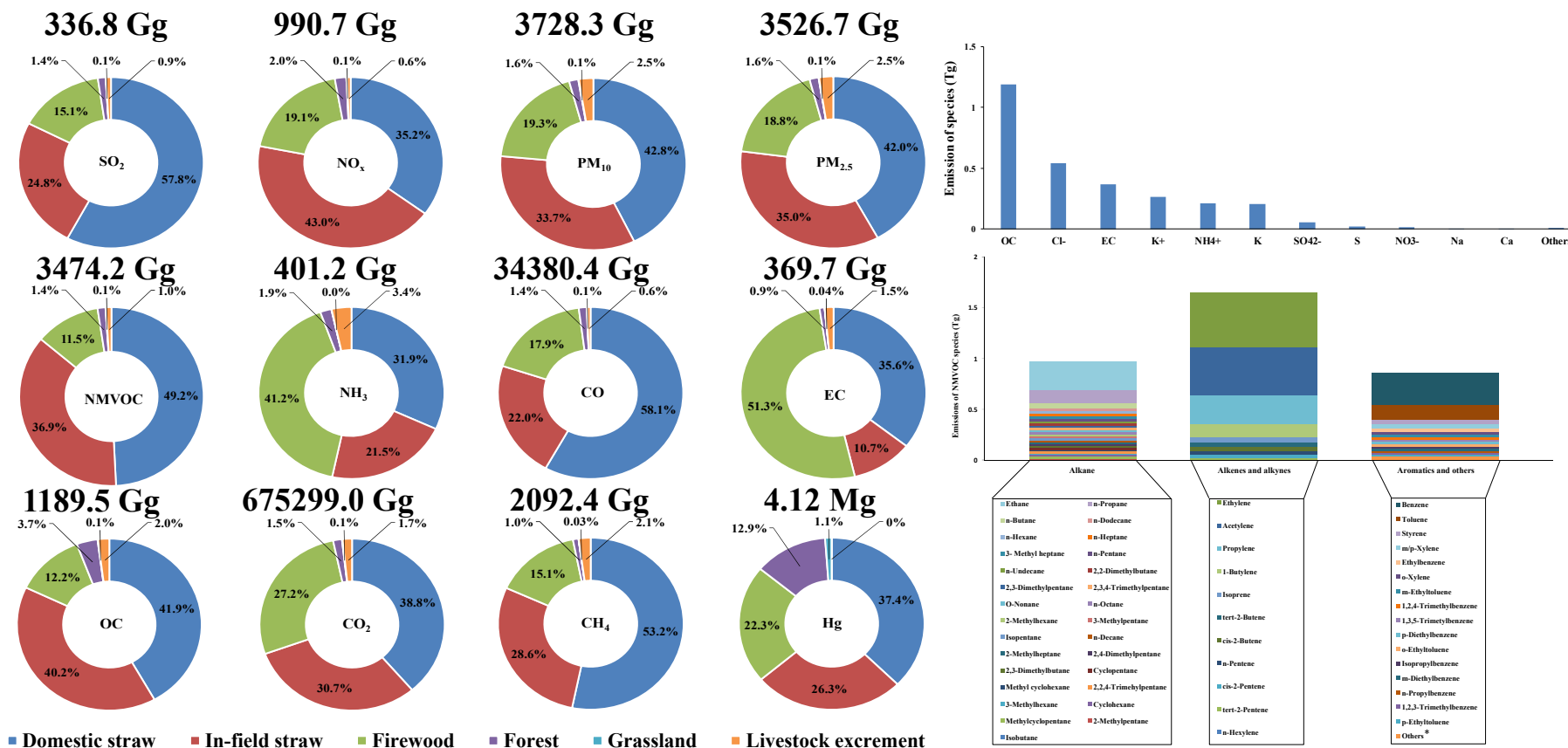


典型污染源高分辨率排放清单精细化研究

中国生物质燃烧排放清单

全国排放总量

- 秸秆、柴薪主要 (~86.0-97.6%) ;
- EC、NH₃主要来自柴薪燃烧 ;
- SO₂, NMVOC, CO, CH₄主要来自室内秸秆焚烧。



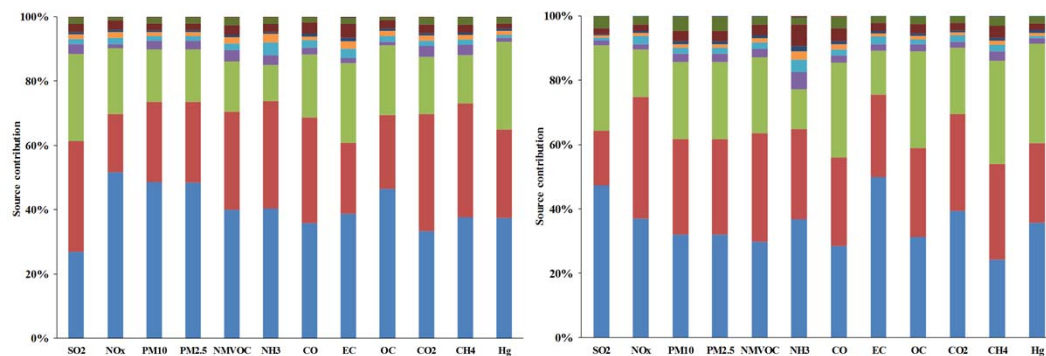
典型污染源高分辨率排放清单精细化研究

中国生物质燃烧排放清单

全国排放总量

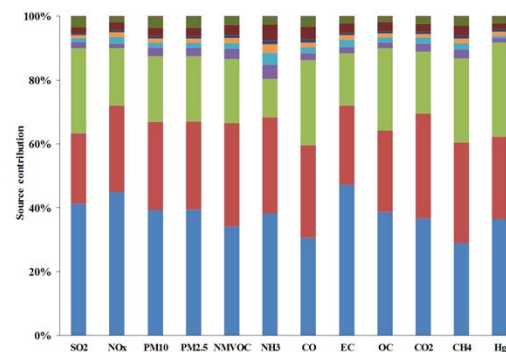
全国分作物排放

- 玉米、水稻、小麦为主要秸秆燃烧作物（>80%）；
- 针对具体污染物，室内和室外的主要贡献源有所不同，如SO₂，NO_x等。



(a) In-field straw burning

(b) Domestic straw burning



(c) Total straw burning

■ Corn ■ Rice ■ Wheat ■ Soya bean ■ Cotton ■ Sugar cane ■ Potato ■ Peanut ■ Rapeseed ■ Sesame ■ Sugar beet ■ Hemp

典型污染源高分辨率排放清单精细化研究

中国生物质燃烧排放清单

全国排放总量

全国分作物排放

各省排放总量

- 黑龙江, 山东, 河南, 湖北, 安徽, 四川, 吉林, 内蒙古, 湖南, 和江苏 (~53-65%) ;

Province	SO ₂	NO _x	PM ₁₀	PM _{2.5}	NM VOC	NH ₃	CO	EC	OC	CO ₂	CH ₄	Hg
	unit: Gg											unit: Mg
Beijing	0.5	1.9	6.9	6.5	4.8	1.2	58	1.3	1.9	1507	3.1	0.01
Tianjin	1.2	3.1	11.6	10.9	10.4	1.3	116	1.4	3.7	2136	6.6	0.01
Hebei	21.4	52.8	200.2	188.6	178.7	21.4	2023	22.7	65.9	36308	115.4	0.22
Shanxi	9.4	22.9	83.5	78.8	74.9	8.1	777	8.7	27.5	14668	43.9	0.09
Inner-Mongolia	16.1	45.2	217.5	204.9	154.5	24.1	1309	16.8	65.3	32278	103.6	0.16
Liaoning	13.8	40.7	144.3	136.1	128.2	17.4	1277	18.0	42.5	27369	72.4	0.14
Jilin	16.5	54.3	179.6	171.5	165.6	15.7	1395	14.7	58.3	29529	84.7	0.16
Heilongjiang	30.0	117.5	397.4	383.3	395.4	32.5	2878	22.8	132.1	65619	200.7	0.36
Shanghai	0.3	0.8	3.1	3.0	3.6	0.2	33	0.2	1.1	566	2.1	0.00
Jiangsu	14.7	39.7	154.5	146.8	167.0	12.4	1614	10.2	52.6	27527	102.2	0.16
Zhejiang	3.8	12.4	48.2	45.7	48.2	6.1	451	5.5	13.6	9986	28.6	0.05
Anhui	19.7	56.5	210.1	199.9	209.9	19.7	2046	17.6	71.4	38539	127.7	0.23
Fujian	3.0	10.7	40.6	38.1	36.4	6.3	387	6.4	10.5	8905	22.9	0.04
Jiangxi	8.0	27.4	105.0	99.0	102.7	14.3	998	13.4	28.6	22445	62.0	0.10
Shandong	34.7	77.9	304.3	287.4	296.6	25.2	3318	24.9	108.9	50493	192.2	0.33
Henan	33.1	82.1	313.0	296.5	301.3	26.6	3294	26.0	112.7	52896	194.5	0.35
Hubei	13.2	40.7	158.2	149.0	147.6	19.9	1530	19.1	44.5	31167	91.5	0.16
Hunan	15.6	51.6	199.2	187.4	198.0	24.1	1949	22.8	54.0	39478	118.5	0.19
Guangdong	5.9	21.1	78.9	74.2	70.0	12.8	726	12.5	21.0	17619	43.4	0.08
Guangxi	8.1	29.1	105.6	100.0	108.0	15.2	1001	12.6	31.8	21300	61.5	0.11
Hainan	1.4	5.0	19.1	17.9	17.7	3.0	191	2.9	5.1	4032	11.0	0.02
Chongqing	5.5	15.6	61.3	57.4	58.7	7.4	619	7.3	17.0	11564	35.6	0.06
Sichuan	19.3	53.0	212.1	199.6	206.4	22.1	2115	21.0	63.2	38192	125.1	0.23
Guizhou	6.4	19.5	74.7	70.1	62.9	10.4	679	10.8	19.8	14944	38.9	0.08
Yunnan	8.8	27.6	108.7	101.4	90.7	17.2	972	17.4	31.8	22370	54.0	0.20
Tibet	3.0	15.4	40.6	37.6	24.8	5.4	305	2.4	26.5	7554	14.8	0.30
Shaanxi	8.5	22.2	86.5	81.1	71.6	11.1	832	12.0	25.9	16701	47.0	0.10
Gansu	6.2	15.9	66.6	62.5	52.6	8.1	579	7.8	20.1	11814	35.2	0.07
Qinghai	0.9	2.3	10.5	9.8	7.2	1.2	84	0.9	3.6	1683	5.2	0.02
Ningxia	1.6	4.1	14.9	14.1	14.8	1.2	144	1.2	5.1	2515	8.5	0.02
Xinjiang	6.2	21.8	71.5	67.5	64.9	9.8	682	8.5	23.7	13596	39.5	0.08
Total	336.8	990.7	3728.3	3526.7	3474.2	401.2	34380	369.7	1189.5	675299	2092.4	4.12

- 针对具体污染物, 排放最大的省有所不同, 如SO₂ (山东), NO_x (黑龙江) 等。

典型污染源高分辨率排放清单精细化研究

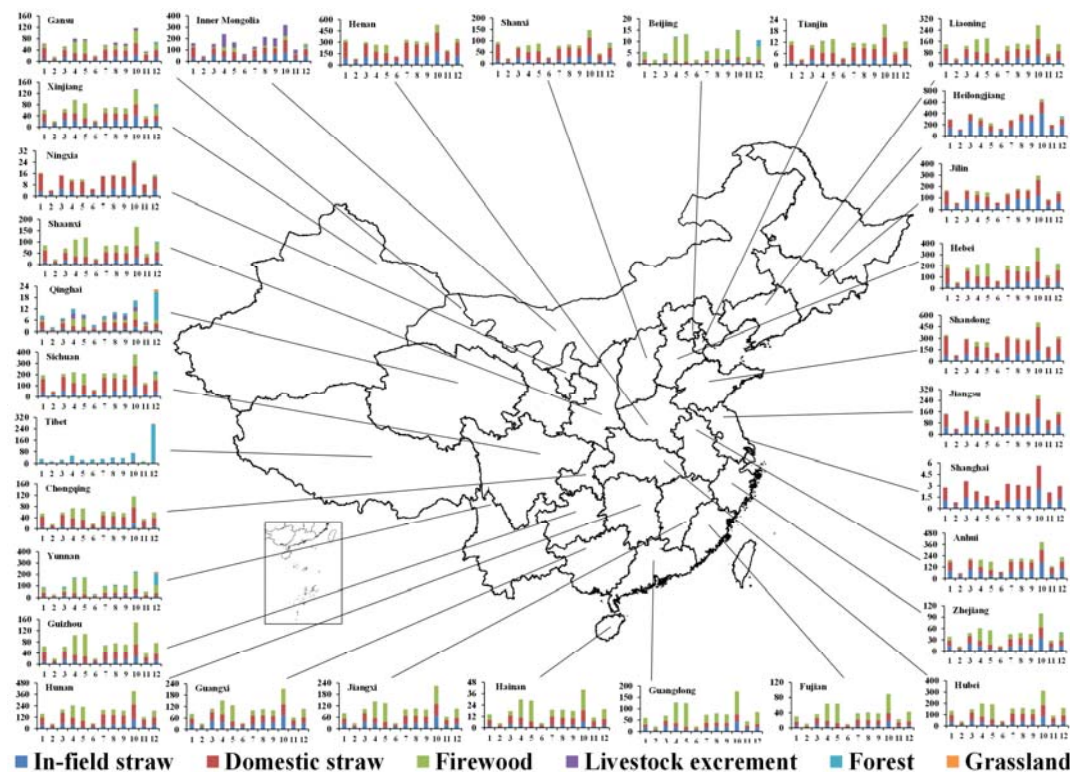
中国生物质燃烧排放清单

全国排放总量

全国分作物排放

各省排放总量

各省排放—分源类



- 柴薪：湖南, 云南, 湖北, 河北, 四川, 广东, 陕西, 辽宁, 江西 (>54%) ;
- 秸秆：山东, 河南, 黑龙江, 河北, 安徽, 四川, 吉林, 湖南 (>58%) ;
- 不同省份内, 各类生物质源类贡献有所不同。

典型污染源高分辨率排放清单精细化研究

中国生物质燃烧排放清单

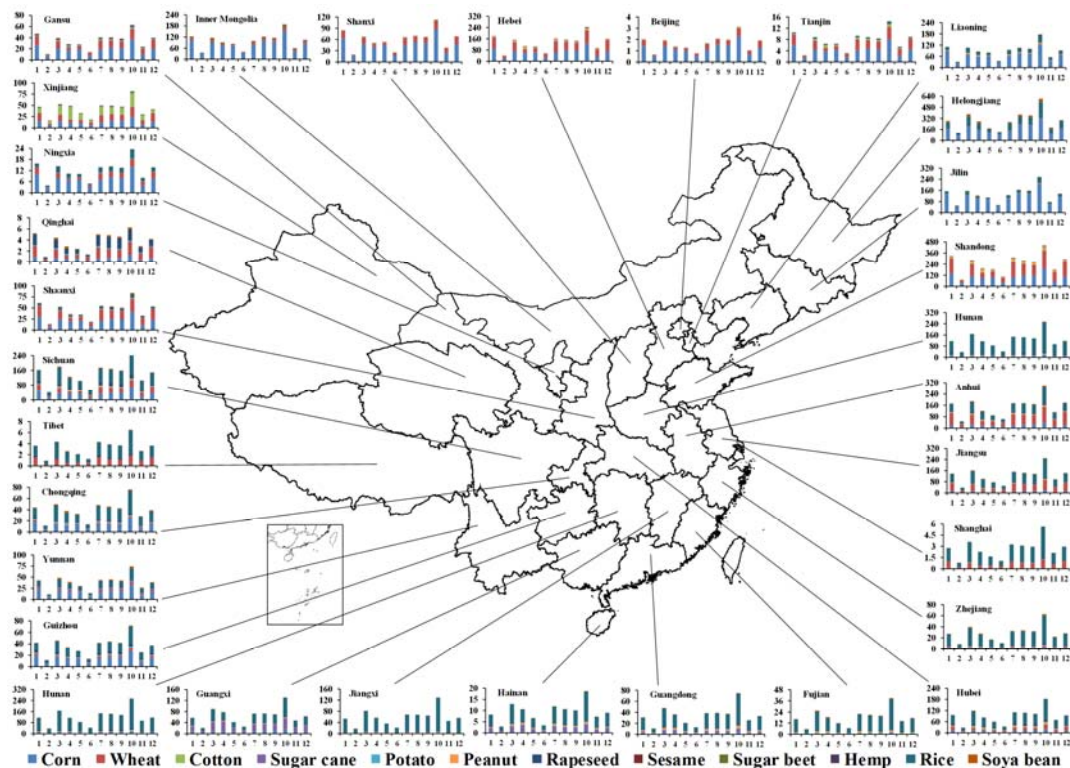
全国排放总量

全国分作物排放

各省排放总量

各省排放—分源类

各省排放—分作物



- 玉米：黑龙江, 山东, 内蒙古, 河北, 河南, 山西, 四川 (>72%) ;
- 小麦：河南, 山东, 安徽, 河北, 江苏, 四川, 陕西, 湖北, 山西 (>89%) ;
- 水稻：黑龙江, 湖南, 江苏, 四川, 安徽, 湖北, 广西, 广东, 浙江 (>71%) 。

水
光照
温度

典型污染源高分辨率排放清单精细化研究

中国生物质燃烧排放清单

全国排放总量

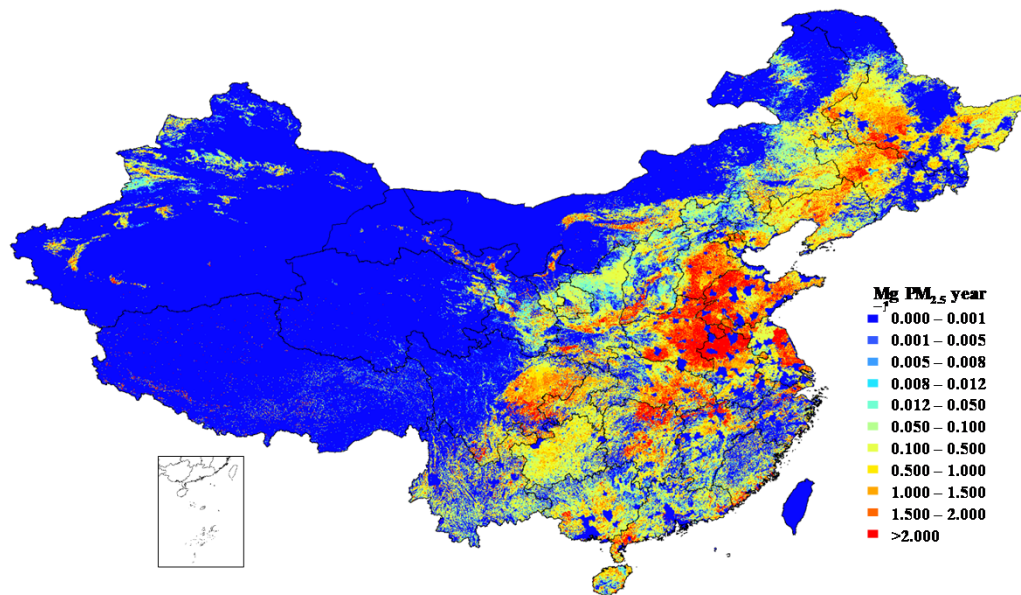
全国分作物排放

各省排放总量

各省排放—分源类

各省排放—分作物

全国1km空间分布



- 东北、华北、中南部地区排放量较大；
- 主要农业区、乡村人口密集、低收入。

典型污染源高分辨率排放清单精细化研究

中国生物质燃烧排放清单

全国排放总量

全国分作物排放

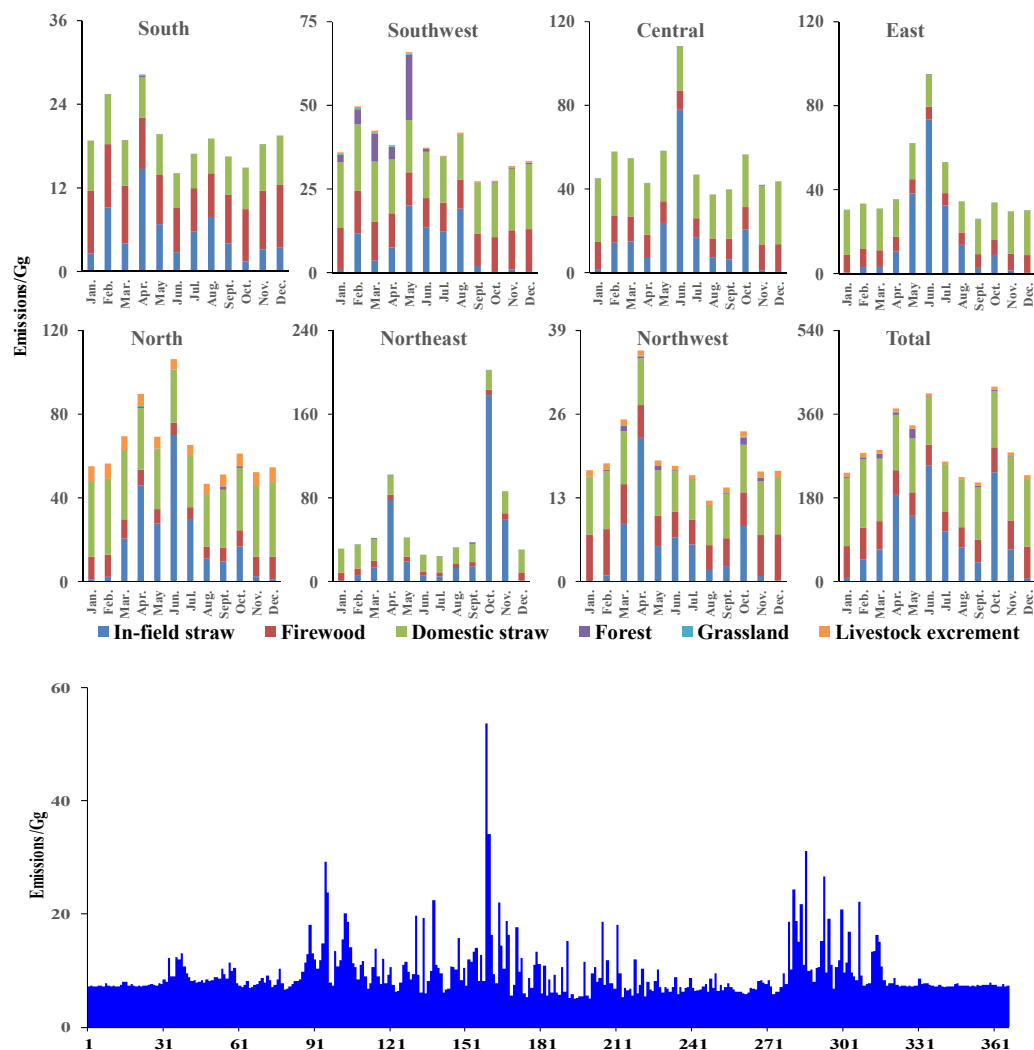
各省排放总量

各省排放—分源类

各省排放—分作物

全国1km空间分布

时间分布



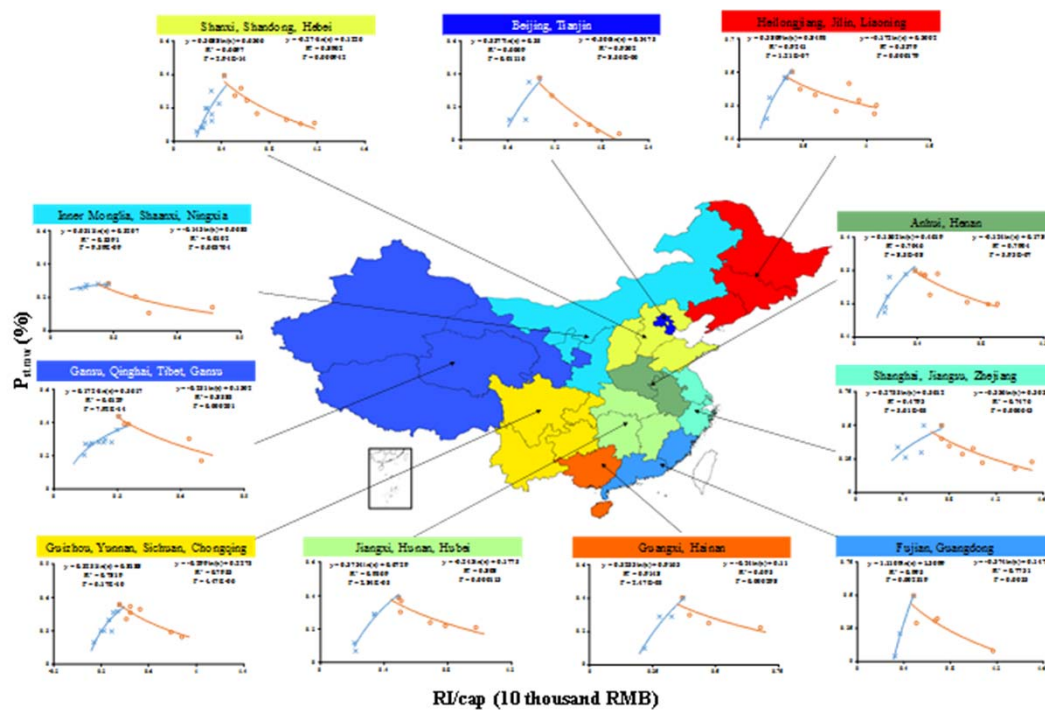
典型污染源高分辨率排放清单精细化研究

中国生物质燃烧排放清单的一些思考

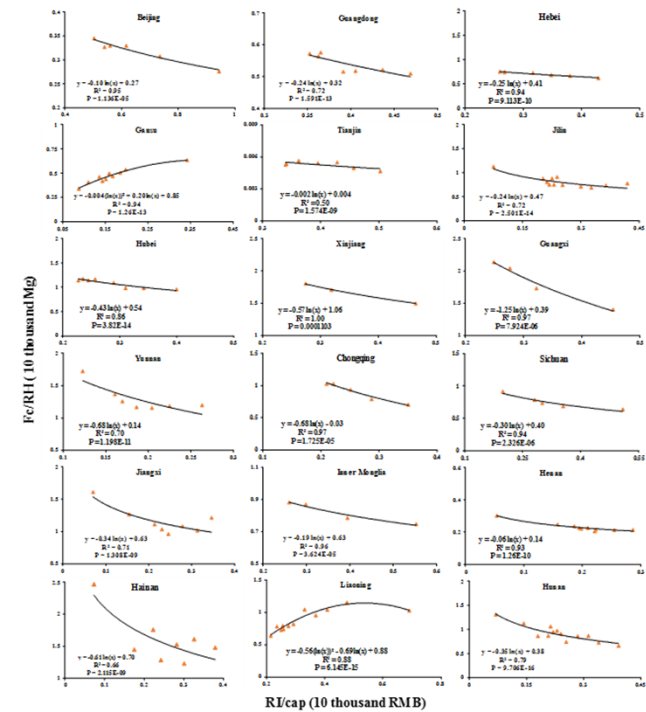
- 本地化排放因子、成分谱细化——燃料、燃烧条件；
- 高分辨率基础数据——进一步提升时间分辨率；
- 室内生物质燃烧排放需重视——贫困农村地区。

典型污染源高分辨率排放清单精细化研究

室内生物质燃烧排放关键参数补充



秸秆室内焚烧比例拟合

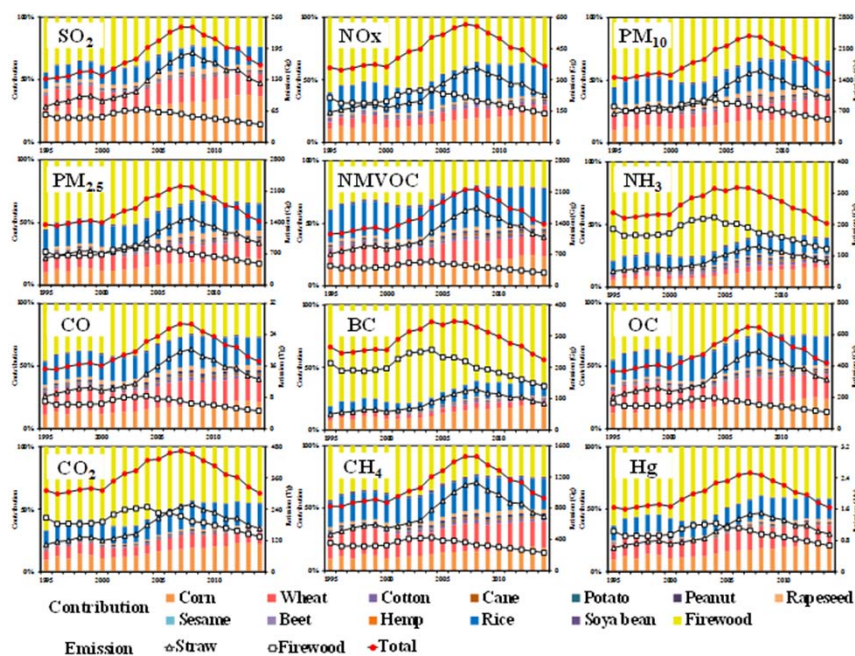


部分地区柴薪消耗拟合

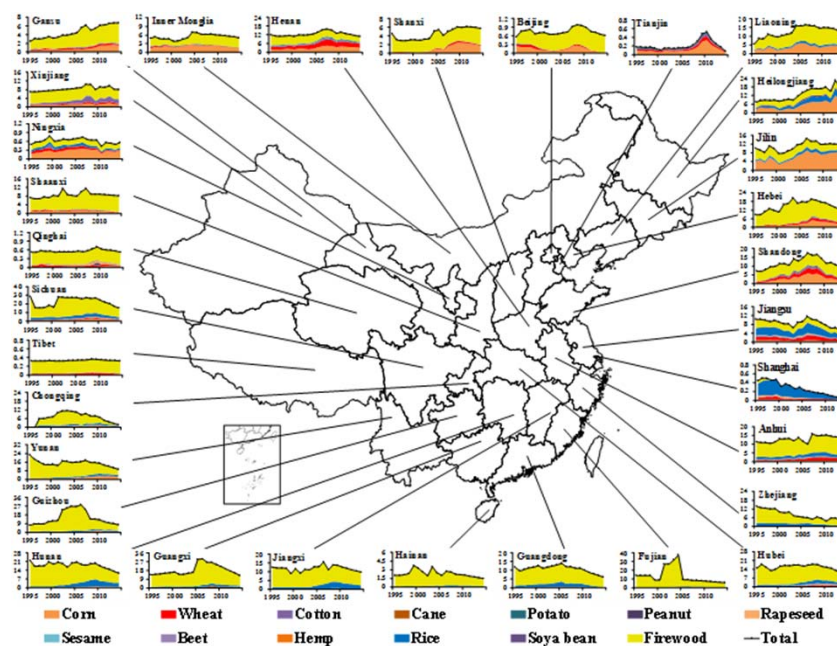
Xing, Zhou, et al., Submitted

典型污染源高分辨率排放清单精细化研究

室内生物质燃烧排放趋势分析



全国

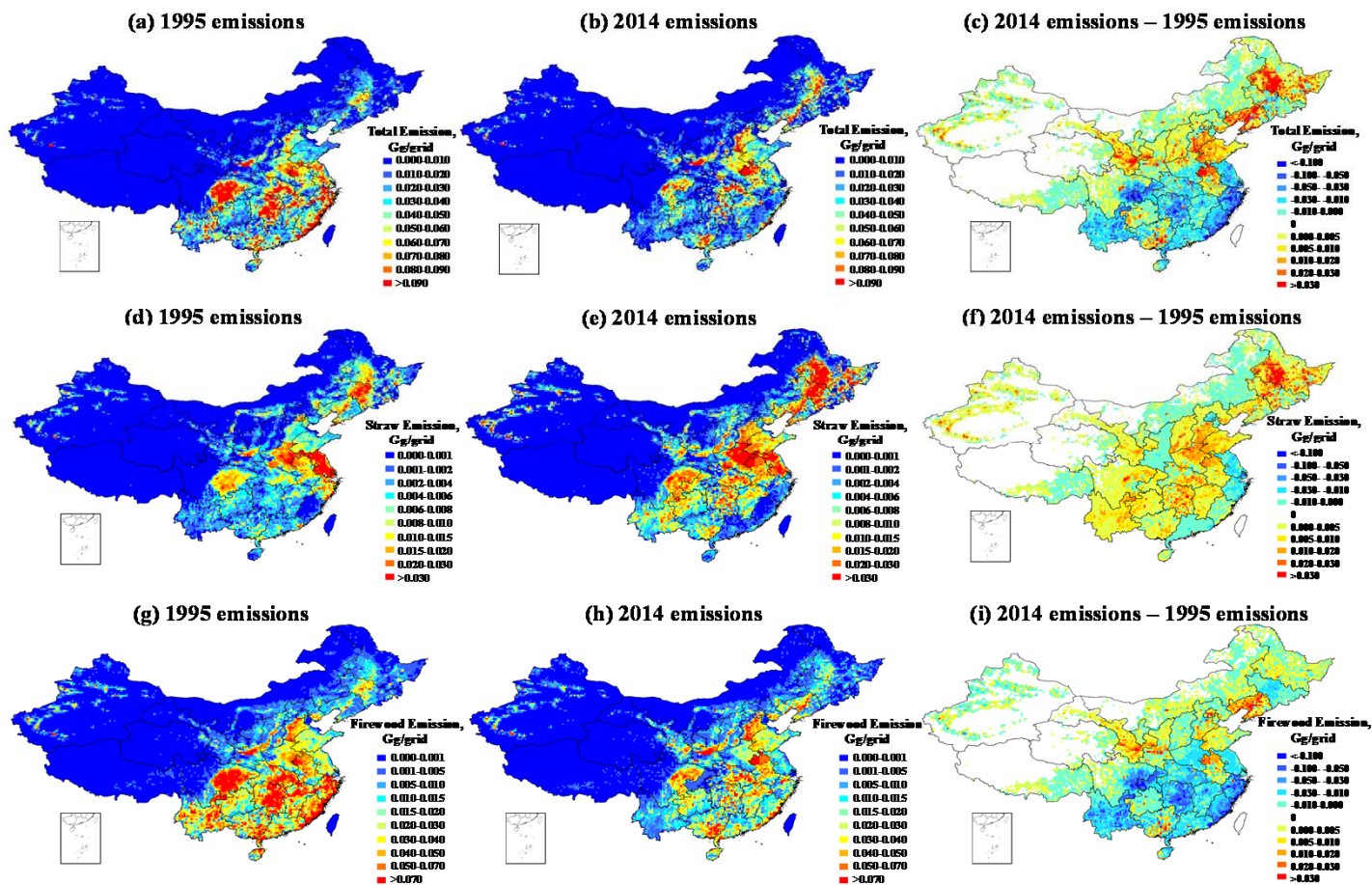


分省份，以BC为例

Xing, Zhou, et al., Submitted

典型污染源高分辨率排放清单精细化研究

室内生物质燃烧排放趋势分析——BC为例



Xing, Zhou, et al., Submitted

排放相关研究论文

- **Zhou Ying***, Xing Xiaofan, Lang Jianlei*, et al., A comprehensive biomass burning emission inventory with high spatial and temporal resolution in China. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2017, 17: 2839–2864.
- **Zhou Ying**, **Cheng Shuiyuan***, Lang Jianlei, Chen Dongsheng, Zhao Beibei, Liu Chao, Xu Ran, Li Tingting. A comprehensive ammonia emission inventory with high-resolution and its evaluation in the Beijing–Tianjin–Hebei (BTH) region, China. *Atmospheric Environment*, 2015, 106: 305-317.
- **Zhou Ying**, **Cheng Shuiyuan***, Chen Dongsheng, et al. A new statistical approach for establishing high-resolution emission inventory of gaseous air pollutants. *Atmospheric Environment*, 2014, 94: 392-401.
- **Zhou Ying**, **Cheng Shuiyuan***, Li Jianbing, et al. A new statistical modeling and optimization framework for establishing high-resolution PM10 emission inventory – II. *Atmospheric Environment*, 2012, 60: 623-631.
- **Cheng Shuiyuan***, **Zhou Ying**, Li Jianbing*, et al. A new statistical modeling and optimization framework for establishing high-resolution PM10 emission inventory – I. *Atmospheric Environment*, 2012, 60: 613-622.
- **Lang Jianlei***, Cheng Shuiyuan, Zhou Ying, Zhang Yanyun, et al. Unregulated pollutant emissions from on-road vehicles in China, 1999–2014. *Science of the Total Environment*, 2016, 573: 974-984.
- **Lang Jianlei**, **Cheng Shuiyuan***, Zhou Ying, Zhang Yonglin, Wang Gang. Air pollutant emissions from on-road vehicles in China, 1999–2011. *Science of the Total Environment*, 2014, 496: 1-10.
- **Lang Jianlei**, **Cheng Shuiyuan***, Zhou Ying, Zhao Beibei, Wang Haiyan, Zhang Shujing. Energy and Environmental Implications of Hybrid and Electric Vehicles in China. *Energies*, 2013, 6: 2663-2685.
- **Lang Jianlei**, **Cheng Shuiyuan***, Wei Wei, Zhou Ying, et al. A Study on the Trends of Vehicular Emissions in the Beijing-Tianjin-Hebei (BTH) Region, China. *Atmospheric Environment*, 2012, 62: 605-614.
- **Wang Gang**, **Cheng Shuiyuan***, Lang Jianlei, Li Song, Tian Liang. On-board measurements of gaseous pollutant emission characteristics under real driving conditions from light-duty diesel vehicles in Chinese cities. *Journal of Environmental Science*, 2016, 46: 28-37.
- **Cheng Shuiyuan***, Wang Gang, **Lang Jianlei***, Wen Wei, Wang Xiaoqi, Yao Sen. Characterization of volatile organic compounds from different cooking emissions. *Atmospheric Environment*, 2016, 145: 299-307.
- **Chen D.S.***, Wang X.T., Li Y., Lang J.L., **Zhou Y.***, et al. High-spatiotemporal-resolution ship emission inventory of China based on AIS data in 2014. *Science of the Total Environment*, 2017, 609: 776-787.

谢谢!

程水源 chengsy@bjut.edu.cn

周颖 y.zhou@bjut.edu.cn

