

中国农村环境解困管理丛书

栾胜基/主编



农村典型燃烧源含碳物质 排放及其环境风险研究

Research on Primary Carbonaceous Gases and Aerosol
Emissions from Rural Typical Combustion Sources and Its
Environmental Risks

张宜升/著

张外借



科学出版社

本书研究获

国家自然科学基金青年基金“农村地区典型燃烧源关键含碳组分排放特征及影响因素研究”(No: 41405114)

“十一五”863计划重大项目“重点城市群大气复合污染综合防治技术与集成示范”之课题“珠江三角洲大气复合污染防治技术集成和综合示范”(No: 2006AA06A309)专题 6“区域生物质燃烧和农业面源的评估与调控技术”

资助



农村典型燃烧源含碳物质 排放及其环境风险研究

Research on Primary Carbonaceous Gases and Aerosol
Emissions from Rural Typical Combustion Sources and Its
Environmental Risks

张宜升/著

科学出版社

北京

内 容 简 介

针对我国农村生物质及煤燃烧源含碳气体与气溶胶排放量估算存在高不确定性的现状,本书采用实验室模拟,实测了显著影响排放量估算的主要含碳物质排放因子,结合统计数据,构建了中国农村生物质和煤燃烧源主要含碳物质排放清单。在此基础上,采用外场调研方法获取了珠江三角洲地区农户 2008~2015 年野外焚烧秸秆及家庭燃用的活动水平,进一步构建了该地区高分辨率的含碳物质排放清单。本书详细介绍了实验室模拟生物质及煤炭燃烧烟气稀释采样系统及主要含碳物质的分析测试方法、外场调研的方法及排放清单的构建方法与各参数的选取依据,依据测算的排放清单评估了其贡献水平和不确定性。研究方法及构建的排放清单可为我国评估农村生物质及煤燃烧源污染物排放提供技术支持。

本书的读者对象主要包括科研院所从事环境科学和大气科学的研究人员,也可供从事大气环境科学及大气污染控制的环境管理部门科技人员、高等院校相关专业师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

农村典型燃烧源含碳物质排放及其环境风险研究 / 张宜升著. —北京:科学出版社, 2017. 8

(中国农村环境管理解困丛书/栾胜基主编)

ISBN 978-7-03-054160-4

I. ①农… II. ①张… III. ①农业污染源-空气污染-研究 IV. ①X51

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 197331 号

责任编辑:林 剑 / 责任校对:彭 涛

责任印制:张 伟 / 封面设计:无极书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京京华虎彩印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 8 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2017 年 8 月第一次印刷 印张:14 1/2

字数:280 000

定价:88.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

丛 书 序

过去几十年，在不断借鉴西方工业化农业生产模式改造传统农业的过程中，我国成功地解决了粮食供给问题，但当前农业转型期表现出的问题也不可忽视。农业供给侧由产量绝对不足的匮乏，逐步转变为品种、品质难以匹配需求升级的相对失衡；农业生态环境质量受损，土壤肥力减退及污染、化肥农药过度使用、畜禽养殖污染严重等问题日益普遍。现阶段，在工业点源污染控制和治理能力迅速提高的前提下，中国农村环境保护形势之严峻、利益之复杂、任务之艰巨更加凸显。同时，我国县级以上农村基层环境管理职权缺失、构建困难，环保基础设施建设严重滞后，农村环境管理业已成为我国环境管理体系中的短板。农村环境状态的优劣不仅关系到能否为国家经济发展提供良好的物质基础和生态服务，也关系到能否为几亿农民的生活质量和身体健康提供基本的保障条件。

中国农村环境问题的根源在哪里？

政治家可溯源于城乡之间二元管理体制的制度原因，社会学家可归因于农村社区公众参与乏力，经济学家认为是公共物品管理的“搭便车”现象，环境学家则更倾向化肥农药过量使用……每一种解释都有其合理性，都能说明某一方面问题的严重程度。我们虽然是环境学的研究者，但不能仅仅停留在从污染物的治理角度认识农村环境问题，而应该有全局的视角和意识，将各环境要素整合到农村社会的大背景中进行思考。

我国正处在传统农业向现代农业的转化过程中，传统农村社会形态与非传统农村社会形态并存且广泛交织，传统农村社会正在以各种方式接受现代化的元素。然而，现代科技、工业化和城市化的高速发展，并没有给中国的农村带来福音，相反，“三农”问题日趋严重。尽管现代生产要素已经广泛应用到我国农村生产和生活的各个领域，但并没有实现我国农村的普遍富裕和资源的有效利用。当农户传统的生产方式和生活方式与现代生产和生活要素尚未彼此适应，随之而来的便是各种形式的现代环境问题。因此，农村环境问题的根源在于传统农村生产和生存方式与现代生产和生活方式的冲突，而在这个冲突当中的矛盾主体则是农户。

中国农村环境解困的出路在何方？

传统的农村社会必须要接受和容纳现代化的元素，现代化的农村社会难以放弃农村固有的传统，因为这些传统积累了千百年来农村与自然和谐共生的智慧。

要实现现代文明成果与传统生存智慧的完美结合，关键在于如何在传统和现代的碰撞中找到平衡点，或者说融合点。这也是农户环境行为演变的最终目标。正如舒尔茨关于理性小农的论断，改变传统农业的本质，重点在于提供给小农可以合理运用的“现代生产要素”。保护农村环境，需要对农户经济行为进行正确引导，使得他们可以在传统农业向现代农业的转化过程中，真正做到合理运用“现代生产要素”，努力避免农户经济行为对环境的负面影响。同时，也要认识到，传统农户基本特征的逐渐消失同样激化了传统与现代的冲突，农村生产系统中传统的物质循环和污染消纳途径逐步地在现代要素应用中被挤出，这加深了我国农村环境问题的严重性。因此，尊重和引导农户的理性选择是化解传统农村生产和生存方式与现代生产和生活方式冲突的重要途径。

农户作为基本经济组织形式，其生产行为既是经济过程，又是生态过程。相对于城市的居民和企业而言，农户对环境的理解不仅仅是污染物存在的形式，更重要的是其污染和破坏的过程是在剥夺他们自己的生产要素，蚕食他们自己的生活空间。从这种意义上理解，农户具备关心环境的原动力，因为环境就是农户生产与生活的来源与归宿，农户的行为实际上是一种寻求经济和生态共生的过程。但遗憾的是，这种过程在现行制度的缺位和短期经济利益的影响下开始被扭曲，离开既有的轨道，而且渐行渐远。

农户在我国农村“社会-经济-环境”系统中占有的核心地位不言而喻，在这个具有非线性、开放式、动态演化特点的复杂农村环境系统中，研究农户的行为与环境的关系是一件困难且极具挑战的工作。本丛书以农户环境行为为视角，厘清农村环境问题产生的原因，从而提出农村环境管理的途径。丛书中所提出的研究方法既不同于农业生产环境的研究，也不同于村落环境的研究，而是以农户为研究切入点，将农户作为农村环境的主体，研究农户行为与环境的关系，借鉴现行的城市环境管理模式，探寻改进我国农村环境管理政策与实践的突破口。

北京大学农村环境课题组在 20 世纪末开始致力于农村环境污染及防治的研究，先后得到国家自然科学基金委员会、环境保护部、科学技术部和联合国环境署的多方支持。有数十位研究生在不同时期分赴各地农村地区开展了各类的实地调研和环境监测，完成各类论文和科研报告多份，取得了一系列的研究进展和应用成果，现以丛书形式公开出版，以飨读者。

若本丛书多个方面的讨论，能提供给读者更多迸发思想火花的机会，那么其刊行会更有意义。

栾胜基

2011 年 12 月 2 日于南国燕园塘琅山下

序

长期以来，生物质及煤炭一直是我国农村地区的主要能源。1980 年以前，以薪柴和秸秆等传统生物质燃料为主的生活用能占整个农村能源消费量的 70% 以上。目前，低效、高污染的生物质和煤炭等炊事及取暖能源的使用仍占据主导地位。世界卫生组织 2014 年的一份报告 *WHO indoor air quality guidelines: Household fuel combustion* 中指出，全球有近 30 亿人（主要在欠发达国家和地区）仍在使用包括木材、秸秆、煤炭、动物粪便和木炭等固体燃料进行烹饪和室内取暖，估计仅在 2012 年就导致了 430 万人的过早死亡，尤其是儿童和家庭妇女等敏感人群。同时，随着农村居民收入的提高以及对更舒适和健康生活的追求，高效优质且洁净的炊事能源需求将不断增加，作为传统能源的秸秆和薪柴使用量预计将大幅下降，预计在国家控制散煤燃用的背景下农村煤炭使用量总体亦将呈减少趋势。由于秸秆等作为传统炊事能源需求的减弱，其被田间直接焚烧的现象迅速增加，已成为影响局地大气环境质量的重要因素之一。在主要城市群大气污染物的来源解析中，其对 $PM_{2.5}$ 、VOCs 等均有较为显著的贡献，特别是夏收和秋收期间，田间秸秆焚烧极易引发重污染天气。为保证空气质量，我国在上海世博会、广州亚运会、G20 杭州峰会等重大活动举办期间均对秸秆露天焚烧进行了严格的监控。

评估农村生物质及煤炭燃烧排放对大气环境质量及室内空气质量影响的主要方法之一是获取其主要污染物排放特征并建立准确的排放清单。近年来，我国在工业、交通运输业等排放清单的编制上取得了长足的进展，排放源分类更加细致、活动水平数据更加可靠、排放因子选取更为可信，污染物种类覆盖面显著增加。在京津冀、长三角及珠三角等重点区域，已初步建设了动态高时空分辨率排放清单，为区域空气质量模型如 CMAQ 等提供了有效支撑，取得了显著的社会经济效益。然而，与欧美国家相比，我国在排放清单编制过程中使用的排放因子和活动水平两类基础数据上仍存在较严重缺失，排放因子可靠性有待提高，导致清单不确定性较高，特别是针对农村燃烧源排放及活动水平的基础研究薄弱，极大影响基于排放清单的大气环境质量预测及预报模型输出结果的准确性。在国家实施新环境空气质量标准且污染物浓度限值不断收紧的背景下，未来大气环境质量的管理将更为依赖可信的排放清单，因此亟须加强对农村典型燃烧源排放的研究。

“十一五”期间，针对我国城市群区域大气复合污染控制的重大技术需求，国家高技术研究与发展计划（863）设立了“重点城市群大气复合污染综合防治技术与集成示范”重大项目，以珠江三角洲和京津及周边省市为示范区，针对区域复合大气污染控制中的关键技术问题，开展了科学研究。该书主要内容即为该项目课题“珠江三角洲大气复合污染防治技术集成和综合示范”支持下的研究成果，为开展农村地区污染源研究提供了一个有益的视角，可为解决我国目前面临的区域大气复合污染问题提供一定的参考。

邵 敏

2017年3月5日于燕园

目 录

第 1 章 导论	1
1.1 农村典型燃烧源大气污染物排放	1
1.2 燃烧排放污染物的影响	3
1.3 燃烧排放物国内外采样及分析方法研究进展	10
1.4 排放清单研究进展	26
1.5 研究目的与章节内容	38
参考文献	40
第 2 章 燃烧采样平台设计与分析方法建立	54
2.1 燃烧源采样系统建立	54
2.2 系统性能评估	59
2.3 燃烧平台及燃烧过程设计	62
2.4 样品采集及分析	67
2.5 质量保证与质量控制	80
参考文献	84
第 3 章 农村典型燃烧源含碳物质排放特征	87
3.1 燃烧状态及排放因子的确定	87
3.2 主要污染物排放因子	88
3.3 主要污染物排放特征	100
参考文献	115
第 4 章 农村生物质及煤燃烧源含碳气溶胶排放清单	120
4.1 研究方法	121
4.2 结果与讨论	142
参考文献	168
第 5 章 高分辨率生物质燃烧含碳气溶胶排放案例研究	174
5.1 高分辨率排放清单构建方法	176
5.2 活动水平	176
5.3 排放因子测定	186
5.4 高分辨率含碳污染物排放清单	187

5.5 田间秸秆焚烧控制措施	197
参考文献	199
第6章 农村典型燃烧源排放含碳污染物的环境风险评价	203
6.1 环境风险评价方法	203
6.2 环境风险评价结果	210
参考文献	212
第7章 结论与讨论	214
7.1 主要结论	214
7.2 本书的局限性及展望	217
后记	219
索引	221

第 1 章 导 论

目前,中国农村有近 80% 的家庭使用生物质能和矿物燃料作为主要生活燃料,其中生物质能约占 60%,矿物燃料约占 20% (国家统计局,2007)。受农村传统生活习惯的影响和经济条件的制约,预计在未来相当长的时期内中国农村使用这两类燃料的低效燃烧状况不会有很大改善。生物质和矿物燃料的大量消耗及粗放的获取、使用方式,带来了严重的资源和环境问题。燃料的不完全燃烧,尤其是在通风不良的情况下,不完全燃烧会释放出对人体健康有害的数百种污染物,造成室内外空气的严重污染。

生物质的野外焚烧是另外一种遍布于全球范围内的常见燃烧形式,它对生态环境和人类社会都有着重要影响,但其对大气环境影响的重要性在近些年才逐渐被认识到。Crutzen 等 (1979) 及 Seiler 和 Crutzen (1980) 开创性的研究表明,生物质露天焚烧排放已成为全球大气污染的重要来源之一,并影响全球及区域气候变化、大气化学组成和空气质量。本书中,将家庭生物质能利用部分和野外焚烧部分统一划分为生物质燃烧行为,并单独对农村家庭生活燃煤展开讨论。

1.1 农村典型燃烧源大气污染物排放

生物质燃烧分为人为燃烧和自然燃烧,其中,人为燃烧分为开放式燃烧和非开放式燃烧,主要包括秸秆野外烧荒、生物质燃料使用、森林大火、草原大火等 (Yevich and Logan, 2003; Lioussé et al., 2004),如图 1.1 所示。生物质的燃烧过程是生物质中的木质素、纤维素和半纤维素等易燃物质燃烧释放出挥发性污染物的过程,其中部分转化为含碳颗粒物。主要的含碳物质有 CO_2 、 CO 、甲烷 (CH_4)、非甲烷碳烃 (NMHCs)、含氧挥发性有机物 (OVOCs)、细颗粒物 ($\text{PM}_{2.5}$)、 $\text{PM}_{2.5}$ 的元素碳 (EC) 和有机碳 (OC)、黑炭 (BC)、水溶性有机碳 (WSOC)、多环芳烃 (polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs) 等。生物质燃烧排放是大气环境中颗粒物、挥发性有机物 (VOCs)、氮氧化物 (NO_x) 等的重要来源 (Andreae, et al., 2005; Lobert and Warnatz, 1993),如表 1.1 和表 1.2 所示。

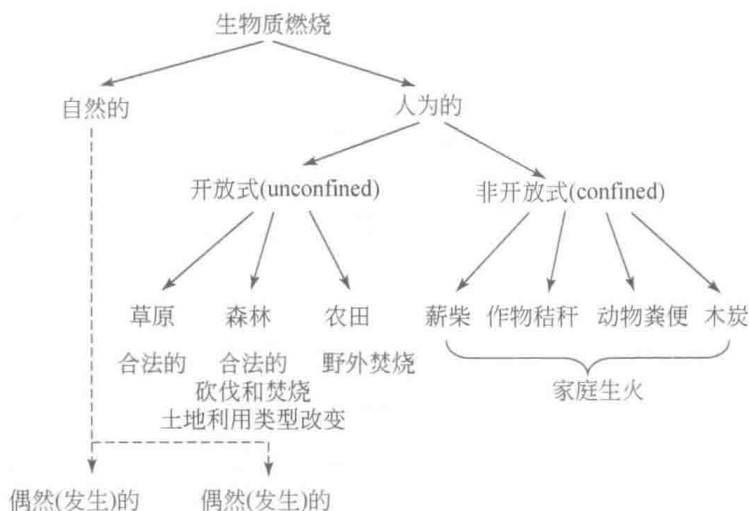


图 1.1 生物质燃烧分类

资料来源：Lioussé et al. , 2004

表 1.1 生物质不同燃烧阶段的主要产物

燃烧阶段	明火燃烧	焖火燃烧
主要产物	CO ₂	CO、CH ₄ 、NMHCs、PAHs
	NO、NO ₂ 、N ₂ O、N ₂	NH ₃ 、HCN、CH ₃ CN、胺、杂环、氨基酸
	SO ₂	含硫化物（H ₂ S、COS、DMS、DMDS）
	颗粒物（BC 含量高）	颗粒物（OC 含量高）

资料来源：Lobert and Warnatz, 1993

表 1.2 燃烧产生的主要含碳污染物及其来源和影响

污染物	来源	对环境与健康的影响
烟雾	未燃烧的碳颗粒及盐分	影响能见度、气候和健康
CO ₂	燃烧的主要产物	辐射强迫，温室效应
CO	未完全燃烧的产物	影响对流层臭氧含量
CH ₄	未完全燃烧的产物	低空 O ₃ ，辐射强迫，温室效应
VOCs	未完全燃烧的产物	低空 O ₃ ，形成二次反应污染
PAHs	C、H 氧化	对人体、生物产生毒害

1.2 燃烧排放污染物的影响

1.2.1 对气候变化的影响

燃烧产生的含碳物质在全球辐射平衡中起着重要作用。生物质燃烧及燃煤排放的颗粒物中的有机碳（OC）能散射太阳辐射，起着降低大气温度的作用，而其中的元素碳 EC [可近似认为 BC，参见 Li 等（2009）的文献] 则主要是吸收太阳辐射，起着加热大气的作用（Bond et al.，2013），如图 1.2 所示。

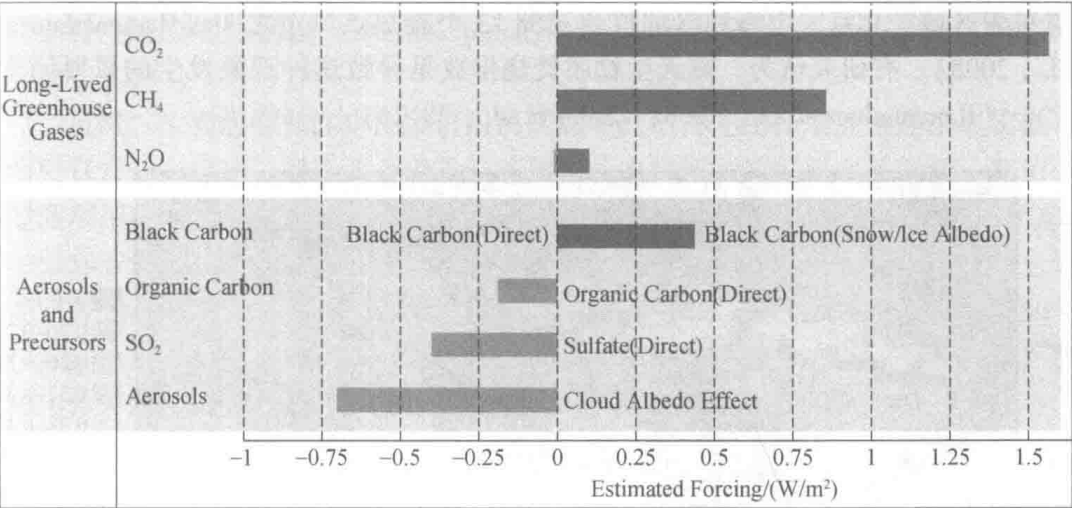


图 1.2 主要气体、气溶胶及气溶胶前体物对 2005 年全球平均辐射强迫
资料来源：USEPA，2012

由于 BC 对大尺度区域的气候变化有显著贡献，因此生物质燃烧排放对气候变化的影响得到了高度重视（Bond et al.，2004；Andreae et al，2005；Akagi et al.，2010）。近年来，考察 BC 来源、量化及其对气候变化的影响日益成为研究热点（Ramanathan and Carmichael，2008；USEPA，2012；Bond et al.，2011，2013）。Jacobson（2001）认为，黑炭气溶胶对全球气候变暖的贡献比甲烷（CH₄）大，仅次于 CO₂ 的正辐射贡献。Bond 等（2013）的研究结果表明，BC 对气候变化的贡献是以前报道值的两倍 [含政府间气候变化专门委员会（Intergovernmental Panel on Climate Change，IPCC）2007 年报道值]，在全球变暖效应中仅次于 CO₂，减少薪柴和煤炭燃烧的排放能迅速减缓全球变暖的趋势。

1995 ~ 1999 年，大型国际合作科研项目——印度洋实验（INDOEX）发现每年的 12 月至次年 4 月，在亚洲南部上空会出现约 3km 厚、面积约 900 万 km² 的

棕色污染尘霾，命名为“亚洲棕色云”（Asian brown clouds, ABC）或亚洲霾（Haze）（Ramanathan et al., 2008）。大气棕色云主要是由大气中含碳气溶胶颗粒物组成的复杂体系，生物质燃烧和燃煤排放的黑炭是其主要贡献源（Venkataraman et al., 2006; Gustafsson et al., 2009; Engling and Gelencsér, 2010）。

我国也存在4个明显的大气棕色云区（大范围的区域性霾），即京津冀及环渤海地区（简称京津渤）、长江三角洲（简称长三角）、珠江三角洲（简称珠三角）和四川盆地（图1.3）。研究表明，位于这几个棕色云区的城市在过去30年间能见度水平显著下降，灰霾发生频率显著增加（Chang et al., 2009; Zhang et al., 2012）。联合国环境规划署（United Nations Environment Programme, UNEP）在最近发布的《大气棕色云：亚洲区域评估报告》中指出，中国东部是霾的重点覆盖区域，北京、上海和深圳位列亚洲13个霾热点城市之中（Ramanathan et al., 2008）。有研究认为，露天生物质焚烧排放是导致这种现象发生的重要因素之一（Ramanathan et al., 2008; Zhang et al., 2012）。

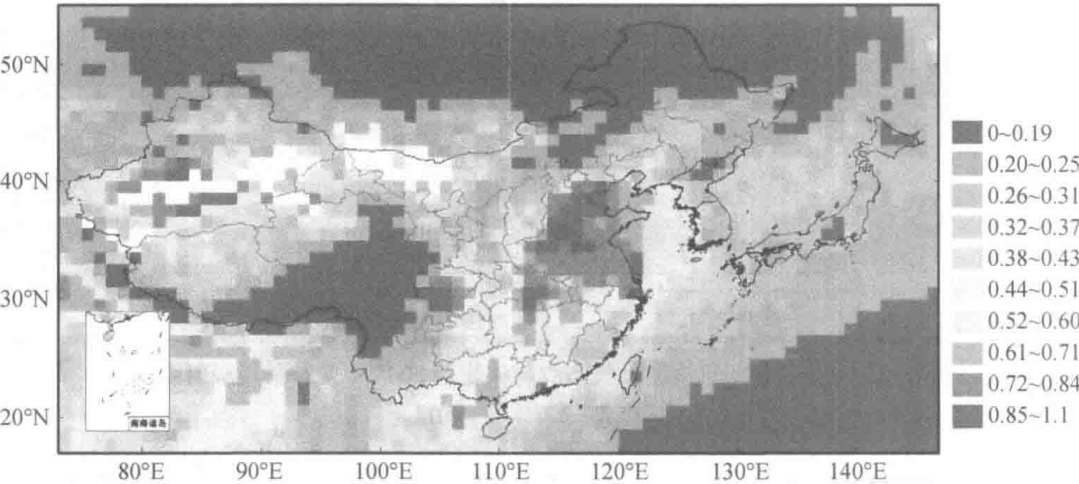


图 1.3 中国 2010 年大气气溶胶厚度 (MODIS AOD 550nm)
注：基于 NOAA MODIS 数据绘制

1.2.2 对区域大气环境质量的影响

Andreae 等估算了 20 世纪 90 年代生物质燃烧过程中不同大气污染物排放占人为源总排放的比例情况，结果表明，生物质燃烧排放已成为大气污染的重要来源之一，CO₂、CO、CH₄、NMHCs、TPM 和 BC 排放分别占人为源排放的 40.1%、42.5%、15.6%、42%、23.1% 和 45%（Andreae, 1991; Andreae and Merlet, 2001）。2000 年，开放式生物质燃烧排放的 BC 和 OC 约分别占全球总排

放量的 36.1% 和 66.8% (Lamarque et al., 2010)。

自 20 世纪 90 年代起, 国外开展了一系列大规模的外场观测活动, 以考察生物质燃烧排放对区域空气质量的影响。其中, 在非洲、巴西、西伯利亚、南亚、北美洲 (墨西哥) 等地相继开展了 SAFARI 92 (Lindesay et al., 1996)、SCAR-B (Kaufman et al., 1998)、TRACE-A 和 TRACE-P (Woo et al., 2003)、MILAGRO (Aiken et al., 2010) 等有影响的研究项目。鉴于生物质燃烧排放对区域空气质量的显著影响, 2013 年, 由全球大气化学会议 (International Global Atmospheric Chemistry, IGAC)、陆地生态系统与大气过程综合研究 (Integrated Land Ecosystem- Atmosphere Processes Study, ILEAPS) 和世界气象组织 (World Meteorological Organization, WMO) 发起了对生物质燃烧的进一步研究计划——跨学科生物质燃烧倡议 (interdisciplinary biomass burning initiative, IBBI) (Kaiser et al., 2013)。

虽然, 生物质燃料在中国城市居民家庭中已不再使用, 煤炭也逐渐退出城市居民日常炊事使用, 但这两者仍是经济落后的农村地区的主要生活能源。落后的能源利用模式排放出大量的含碳污染物, 直接影响中国含碳污染物的排放清单, 如多环芳烃 (PAHs)、黑炭 (BC) 等 (张彦旭, 2010; Wang et al., 2012)。近期研究表明, 生物质燃烧排放的颗粒物 PM 占中国 PM 总排放的 10% ~ 50% (Feng et al., 2012), 排放的 BC (267.7 ~ 443.5 kt) 占全国总量 (1963.8 kt) 的 13.6% ~ 22.6% (陆炳等, 2012; 田贺忠等, 2011; Wang et al., 2012)。

伴随着政府部门对工业、交通运输业等的严格控制, 加之工艺技术的不断进步, 传统的大气污染物排放行业的排污量在不断削减, 而生物质燃烧排放污染物成为区域复合污染的重要来源, 引起了研究者的广泛重视。以中国四大快速发展区域 (京津冀、长三角、珠三角和四川盆地) 为例, 系列研究表明, 位于该区域的城市大气质量受到生物质燃烧排放的影响显著, 由秸秆焚烧引起的灰霾天气和大气污染事件占有重要比例, 且具有季节高发性 (Duan et al., 2004; Wang et al., 2007; 苏继峰, 2011)。生物质燃烧和燃煤导致农村农户室内外严重的大气污染。在取暖季, 中国农村大气中部分含碳污染物种 (如 PAHs 等) 的浓度甚至高于同纬度城市地区 (刘刚和沈镭, 2007; Wang et al., 2008a)。

1.2.2.1 对珠江三角洲地区大气环境质量的影响

生物质燃烧排放的含碳污染物对珠江三角洲大气质量有着显著影响。Zheng 等 (2011) 对珠三角四城市的研究表明, 生物质燃烧排放占整个珠三角一次细粒子有机碳源的 14% ~ 22%。2002 年 10 月 ~ 2003 年 6 月, 生物质燃烧对城市大气细粒子中有机碳的贡献分别为 26.6% (从化)、20.6% (广州)、18.0% (中山)

和 14.1% (深圳)。Guo 等 (2006) 利用 2001 ~ 2002 年获得的采样信息进行受体模型源解析, 研究结果显示, 珠三角地区生物质燃烧对非甲烷烃 (NMHCs) 总排放量的贡献为 25% 左右。Song 等 (2008) 运用正矩阵分解方法 (probabilistic matrix factorization, PMF) 对广州市 2004 年 12 月 ~ 2005 年 11 月的悬浮颗粒物来源进行了解析, 研究结果表明, 生物质燃烧的贡献比例约占 15%。Bi 等 (2011) 利用单颗粒气溶胶质谱仪 (single particle aerosol mass spectrometer, SPAMS) 获取了珠三角城区 (广州) 2010 年 4 月 30 日 ~ 5 月 22 日近 70 万个大气亚微米颗粒, 其中, 约 20.3% 被鉴定为生物质燃烧颗粒。在生物质燃烧颗粒中, 硝酸盐的比例比非生物质燃烧颗粒高 10%, 可能是由于生物质燃烧颗粒富含 K 和 Na, 这些物质对于颗粒相硝酸的形成有促进作用 (Bi et al., 2011)。

左旋葡聚糖 (Levoglucosan) 被认为是生物质燃烧的有效示踪物种 (Simoneit et al., 2004; Wang et al., 2007)。马社霞等 (2007) 测定了广州市荔湾区气溶胶中水溶性有机物的含量, 研究结果表明, 秋季左旋葡聚糖含量高达 234.9 ng/m^3 , 约为其他季节的 1.5 倍, 说明该地区秋季受到严重的生物质燃烧排放影响, 原因可能是枯枝落叶及农作物秸秆的焚烧。Wang 等 (2007) 以环境大气颗粒物中左旋葡聚糖为示踪物种, 解析了 2004 年广州市大气细颗粒物来源。研究结果表明, 广州市郊和市区的空气污染事件中由生物质燃烧排放造成的比例分别达到 100% 和 58%, 生物质燃烧排放的 $\text{PM}_{2.5}$ 分别占市郊和市区大气 $\text{PM}_{2.5}$ 质量的 3.0% ~ 16.8% (新科) 和 4.0% ~ 19.0% (广州市区)。另外, 也有研究指出乙腈也是生物质燃烧排放对大气环境贡献的有效指示物种 (Yuan et al., 2010)。

1.2.2.2 对长江三角洲地区大气环境质量的影响

通过受体模型等方法解析的生物质燃烧对大气质量的影响见表 1.3。王格慧等以大气细颗粒物 $\text{PM}_{2.5}$ 中的有机示踪物为指标, 得到生物质燃烧排放的 $\text{PM}_{2.5}$ 对南京市区日间 $\text{PM}_{2.5}$ 的贡献为 9% ~ 14%, 而夜间的贡献为 13% ~ 19% (Wang and Kawamura, 2005; Wang et al., 2009); 在粮食作物抢收抢种期间, 由于大量的秸秆被就地焚烧, 生物质燃烧排放的 $\text{PM}_{2.5}$ 对大气 $\text{PM}_{2.5}$ 总量的贡献可高达 33% ~ 85% (Wang et al., 2009a)。浙江如东农村的监测结果也表明, 生物质燃烧排放对夜间城市大气质量的影响高于日间 (Pan et al., 2012)。浙江临安农村的研究结果显示, 生物质燃烧对 CO 和 VOCs 的贡献分别为 18% 和 11% (Guo et al., 2004)。Yang 等 (2008) 在江苏宿迁夏季收获季节观测到秸秆燃烧对大气颗粒物的浓度影响显著, PM_{10} 浓度从 0.1 mg/m^3 增加到 0.3 mg/m^3 , 持续时间 10 天左右。Huang 等 (2011a) 通过排放清单方法计算的 2007 年生物质燃烧对长三角 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、

VOCs 总排放的贡献率分别为 1.6%、2.6% 和 3.5%，显著低于通过受体模型和有机示踪物法得到的贡献值。

1.2.2.3 对京津冀及环渤海地区大气环境质量的影响

京津冀及环渤海地区农业人口密集，每年都会消耗大量秸秆及薪柴作为日常生活能源，冬季则多以煤炭作为取暖燃料。同时，该地区也是我国重要的冬小麦产区，麦秸焚烧污染也是当地生物质燃烧的重要特征，易造成重大空气污染事件。2000 年 6 月 18~20 日，北京出现的重大污染事件就是农田秸秆焚烧引起的 (Duan et al., 2004)。由于生物质被用作民用燃料的现象在北京郊区及周边地区十分普遍，所以北京会常年受到生物质燃烧的影响 (Wang et al., 2009)。已有研究表明，生物质燃烧排放对北京市大气颗粒物的贡献为 0~24.9%，对颗粒物中有机碳的贡献为 0~37.3% (表 1.3)。

表 1.3 生物质燃烧排放对区域大气污染的贡献

地点		采样时间	物种	方法*	贡献	参考文献
长三角		2007 年	PM ₁₀	Bottom-up EI	1.6%	Huang et al., 2011a
			PM _{2.5}		2.6%	
			VOCs		3.5%	
上海	市区	2007~2010 年	VOCs	PMF	9%	Cai et al., 2010
南京	市区	2004 年、2005 年	PM _{2.5}	OT	9%~14% (日间)	Wang and Kawamura, 2005
					13%~19% (夜间)	
南京	市区	2007 年	PM _{2.5}	OT	33%~85%	Wang et al., 2009
临安 ^d	农村	1999 年 6 月~2000 年 7 月	VOCs	PCA/APCS	11%	Guo et al., 2004
			CO		18%	
如东	农村	2010 年	EC in PM _{2.5}	PMF	33.4% (夜间)	Pan et al., 2012
					3.7% (日间)	
北京	市区	2000 年	OC in PM _{2.5}	CMB	0~61.8%	Zheng et al., 2005
			PM _{2.5}		0~21.2%	
北京	市区	2000 年	PM _{2.5}	CMB	8.4%	Song et al., 2006a
				PMF	10.2%	
北京	市区	2000 年	PM _{2.5}	CMB	6%	Song et al., 2006b
				PMF	11%	
北京	市区	2004 年	PM _{2.5}	PMF	4.0%~22.2%	Song et al., 2007

续表

地点		采样时间	物种	方法*	贡献	参考文献
北京	市区	2001 ~ 2006 年	PM _{2.5}	PMF	11.8%	Wang et al. , 2008b
			PM ₁₀	PMF	10.2%	
北京	背景点	2006 年	PM _{2.5}	PMF	15.6%	Wang et al. , 2008b
			PM ₁₀	PMF	18.1%	
北京	市区	2005 ~ 2007 年	OC in PM _{2.5}	CMB	9.9% ~ 26.1%	Wang et al. , 2009
			PM _{2.5}	CMB	8.4% ~ 24.9%	
北京	农村	2008 年	OC in PM _{2.5}	OT	8.9%	Guo et al. , 2012
	市区	2008 年	OC in PM _{2.5}	OT	7%	

注：* Bottom-up EI，自下而上排放清单法；PMF，正矩阵分解方法；OT（organic tracer），有机示踪物；PCA（principle component analysis），主成分分析法；d 未考虑生物质燃料燃烧排放的贡献

1.2.2.4 对四川盆地大气环境质量的影响

生物质燃烧及燃煤排放对四川盆地城市大气质量影响的相关研究目前较为缺乏。Yang 等（2012）采用主成分分析法对成都市区 2009 年 4 ~ 5 月大气 PM_{2.5} 进行来源解析，结果表明生物质燃烧排放的贡献高达 36.9%，如图 1.4 所示。

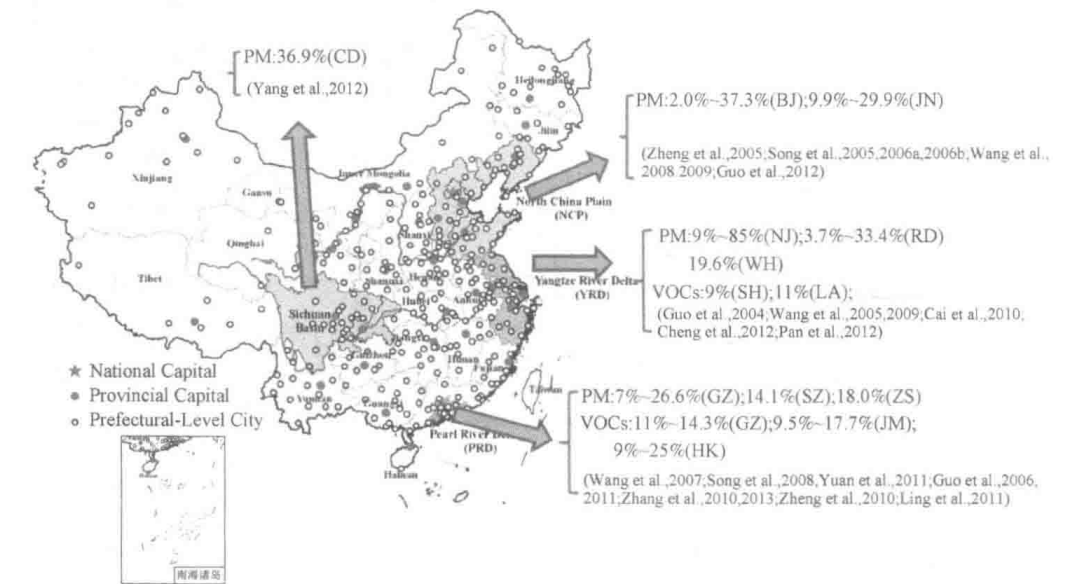


图 1.4 生物质燃烧对各城市大气污染的贡献

注：数据不包括澳门和台湾地区