



农业资源与环境学报

中文核心期刊
中国科技核心期刊

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT

欢迎投稿 <http://www.aed.org.cn>

固体燃料导致室内空气污染的研究动态及热点——基于文献计量学分析

罗智瀚, 沈国锋, 陶澍

引用本文:

罗智瀚, 沈国锋, 陶澍. 固体燃料导致室内空气污染的研究动态及热点——基于文献计量学分析[J]. 农业资源与环境学报, 2022, 39(2): 346–355.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0340>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于CNKI的我国生物炭研究趋势文献计量学分析

安显金, 李维

农业资源与环境学报. 2018, 35(6): 483–491 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0159>

基于知识图谱的土壤中抗生素研究进展分析

曹梦, 李勇, 勾宇轩, 黄元仿

农业资源与环境学报. 2020, 37(5): 627–635 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0396>

耕地生态风险评价研究热点与趋势——基于CiteSpace可视化分析

黎怡姍, 吴大放, 刘艳艳

农业资源与环境学报. 2019, 36(4): 502–512 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0187>

铁合金厂周边室内积尘中重金属污染特征及健康风险评价

陶永刚, 马鹏程, 陈棉彪, 黄楚珊, 张丽娟, 于云江, 柳晓琳, 许群, 胡国成

农业资源与环境学报. 2019, 36(6): 829–838 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0253>

基于发明专利的重金属钝化技术的文献计量分析

秦勇, 师阿燕, 徐笠, 徐岩, 李静, 张震, 古丛珂, 李发东

农业资源与环境学报. 2018, 35(4): 283–291 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2017.0239>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

罗智瀚, 沈国锋, 陶澍. 固体燃料导致室内空气污染的研究动态及热点——基于文献计量学分析[J]. 农业资源与环境学报, 2022, 39(2): 346–355.

LUO Z H, SHEN G F, TAO S. Progresses and hot-spots of research on household air pollution associated with solid fuel use: A bibliometrics analysis[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2022, 39(2): 346–355.



开放科学 OSID

固体燃料导致室内空气污染的研究动态及热点 ——基于文献计量学分析

罗智瀚, 沈国锋*, 陶澍

(北京大学城市与环境学院, 北京 100871)

摘要:室内燃用煤炭和生物质等固体燃料会造成严重的室内空气污染,全球每年约数百万过早死亡可归因于室内固体燃料燃烧排放的PM_{2.5}暴露。为分析固体燃料使用导致室内空气污染的研究进展和发展趋势,采用文献计量学软件CiteSpace对Web of Science核心数据集(Core Collection)中的相关文献进行了知识网络结构的挖掘,讨论了发文数量、期刊、关键词等的特征及变化趋势,重点探讨了该领域研究的发展过程和热点。结果表明,领域内相关研究的发文量呈指数上升趋势,说明该问题受到越来越多的关注。很多研究发表在*Indoor Air*、*Science of the Total Environment*、*Energy for Sustainable Development*等专业或综合类环境期刊。来自美国和中国的研究团队发文量居前列。清洁炉灶、清洁能源、黑碳和PM_{2.5}是领域研究中较常涉及的关键词。污染暴露的健康危害、清洁干预、健康和气候共同效益是今后值得重点关注的方向。建议围绕“污染-暴露-健康风险”的过程链,开展系列研究以支撑相关人群健康保护。

关键词:固体燃料;室内空气污染;研究进展;文献计量学;CiteSpace

中图分类号:G353.1;X51 文献标志码:A 文章编号:2095-6819(2022)02-0346-10 doi: 10.13254/j.jare.2021.0340

Progresses and hot-spots of research on household air pollution associated with solid fuel use: A bibliometrics analysis

LUO Zhihan, SHEN Guofeng*, TAO Shu

(College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Household air pollution (HAP) from the indoor burning of solid fuels, such as coal and biomass fuels, directly affects human health. Global exposure to HAP is estimated to cause millions of premature deaths. To better understand the research progress and hotspots of HAP studies, a bibliometric analysis was carried out using CiteSpace and papers searched from the Web of Science Core Collection. The number of publications per year, publication journals, and keywords was analyzed. The results showed that the number of publications in this field is growing exponentially, indicating that this issue is receiving more interest. These studies are mostly published in international journals such as *Indoor Air*, *Science of the Total Environment*, and *Energy for Sustainable Development*, with research teams from countries such as the United States and China. Clean energy, improved cookstoves, black carbon, and PM_{2.5} are the most widely mentioned keywords. Health outcomes of HAP exposure, clean intervention, and co-benefits in health and climate are important foci. It is suggested that sequential studies should be conducted on pollution characterization, exposure, and health risk assessment to protect human health.

Keywords: solid fuel; household air pollution; research progress; bibliometrics; CiteSpace

收稿日期: 2021-05-28 录用日期: 2021-08-19

作者简介: 罗智瀚(1997—),男,四川乐山人,博士研究生,主要从事区域空气污染。E-mail: 2001111855@stu.pku.edu.cn

*通信作者: 沈国锋 E-mail: gfshe12@pku.edu.cn

基金项目: 国家自然科学基金优秀青年基金项目(41922057);国家自然科学基金重点项目(41830641)

Project supported: The National Natural Science Foundation for Excellent Young Scholars of China(41922057); The Key Program of the National Natural Science Foundation of China(41830641)

受限于经济条件和自然资源等因素,目前世界上仍有近30亿人使用传统的固体燃料(如生物质和煤等)进行日常炊事、取暖或照明^[1-2]。由于传统炉灶的热效率较低,因此燃料消耗量很大;同时因燃料燃烧效率低,且没有末端控制措施,一氧化碳(CO),颗粒物(PM),二氧化硫(SO₂)等不完全燃烧产物的排放系数要比同类燃料在工业和电厂等其他部门高很多^[3-4]。因此,固体燃料燃烧产生的污染物排放量很大,对区域大气环境质量的影响不容忽视。人们通常将炉灶安置在室内,对于无烟囱炉灶,污染物直接释放到室内;而对于有烟囱的炉灶,虽然大部分污染物通过烟囱排放,但仍有相当比例的污染物通过炉灶口或炉灶缝隙进入室内^[5-6]。因此,室内固体燃料燃烧对室内空气环境的危害更值得关注。最新的实地研究结果表明,在中国南方典型的砖灶中燃烧生物质时约有14%的CO和28%的PM_{2.5}泄漏至室内,造成较高浓度的室内污染^[6]。由固体燃料燃烧导致的室内空气污染暴露已成为重要的环境风险因子。研究指出,2019年全球因室内PM_{2.5}暴露导致的过早死亡人数高达230万,其中中国和印度分别为36万和61万,占比较高;因室内PM_{2.5}暴露造成疾病负担[以伤残调整生命年(Disability adjusted life year, DALY)为指标]的人数为9100万,其中中国和印度分别为874万和2 089万^[7]。

关于固体燃料燃烧造成室内空气污染的研究已有二三十年的历史,但长期以来缺少一个很明晰的定义。目前,领域内研究倾向于将这类污染从传统的室内空气污染中区分出来,如SMITH等^[8]采用“家庭固体燃料使用造成的室内空气污染”来描述。此描述准确但较为冗长。近年来,国际期刊中普遍采用Household air pollution(HAP)来描述,定义为家庭烹饪、照明和/或取暖使用的固体或非固体燃料的低效率燃烧所造成的室内外空气污染^[8-12]。Indoor air pollution(IAP)通常是指由燃料装置、烟草制品、建筑材料和家具、家庭清洁和维护用品、个人护理品或爱好品、中央冷暖系统和加湿装置、湿气过重以及一些室外源引起的建筑物内部的空气污染^[13]。对比而言,IAP强调所有源对室内造成的污染,HAP则聚焦于燃烧源对室内外造成的污染。二者对污染的来源和影响范围的关注点不同,目前的研究越来越倾向于采用HAP来描述因室内燃料使用造成的空气污染问题。

HAP领域已有较多的研究。鉴于其对于人群健

康和社会可持续发展的重要意义和价值,有必要对该领域的研究进展和热点进行梳理和分析。文献计量软件CiteSpace作为一个有效的知识网络分析工具,可用于某领域研究历史及发展动态的可视化分析。目前鲜见基于文献计量学对固体燃料使用造成的农村室内空气污染进行分析的报道,因此,本文结合Web of Science(WOS)和CiteSpace软件对HAP研究进行可视化分析,旨在梳理HAP研究的发展脉络,分析当前该领域研究热点,为固体燃料室内空气污染的后续研究和控制提供参考。

1 材料与方法

1.1 数据来源

参照文献计量软件CiteSpace要求,本研究选择使用Web of Science(WOS)核心数据集(Core Collection)进行文献检索。检索时间为2021年2月5日。检索词为TS=(rural and (“indoor air pollution” or “household air pollution” or “indoor air quality”)),语种为English,文献类型为article和review(排除其他文献类型)。引文索引选取SCI-Expanded、SSCI、A&HCI、CPCI-S、CPCI-SSH、ESCI、CCR-Expanded、IC。因2021年数据入库不全,时间跨度设定为1900—2020年。同时在中国知网(CNKI)对相关中文文献进行了检索,累计获得20篇中文文献。考虑到较少的数据量无法支撑文献计量分析,且文献计量软件(CiteSpace以及其他大部分软件)无法将中英文文献进行合并分析,因此本研究只对英文文献进行统计分析。

基于检索结果和主题筛选,共有853篇文献(790篇研究论文和63篇综述)用于计量学和可视化分析。

1.2 软件介绍和参数设置

CiteSpace是由美国德雷塞尔大学计算机与情报学学院的陈超美教授研发的一款可用于自然科学和社会科学领域文献的计量学分析与可视化分析的软件^[14]。它采用共现理论、共被引分析理论和寻径网络算法,对特定领域的文献进行统计分析和挖掘,揭示背后隐含的科学知识网络^[15-16]。本研究所用软件版本为CiteSpace 5.7.R5W。

根据文献出版的时间,本研究设定时间范围为1990—2020年,时间切片为1年。节点类型(Node types)根据分析需要分别选择发文机构、作者、关键词、共被引文献。选择基准为前50,连线强度选择Cosine,网络裁剪选择Pathfinder(寻径网络)和Prun-

ing the merged network (对每个切片的网络进行裁剪)。其他均采用默认设置。

2 结果与讨论

2.1 发文量、研究领域和发表期刊

图1展示了HAP相关研究的年发文量趋势。根据WOS分析检索报告,使用Excel 2020对累计发文量数据进行指数曲线拟合,决定系数(R^2)为0.971 1。这种明显的指数增长趋势表明该领域研究越来越受到关注。根据发文量增长趋势将研究的发展过程分为三个阶段:①起步阶段(1990—1999年),HAP研究开始萌芽,发文量较少(20篇);②稳定增长阶段(2000—2010年),发文量呈波动上升趋势;③快速增长阶段(2010年以后)。SHNEIDER^[17]认为一个学科的发展可划分为四个阶段:第一阶段引入新的物质和现象;第二阶段创建新方法和技术;第三阶段产生知识,出版物数量最多;第四阶段继承和传递前三阶段的知识。基于此,笔者认为该领域还处在蓬勃发展的第三阶段,未来有望产出更丰硕的成果。

据WOS的统计信息显示,HAP研究主要集中在环境科学、能源与燃料、环境政策、毒理学与健康领域。近1/3的文献发表在以下国际知名期刊:*Indoor Air* (41篇)、*Sci Total Environ* (28篇)、*Energy Sustain Develop* (27篇)、*Environ Res* (25篇)、*Inter J Environ Res Public Health* (25篇)、*Environ Int* (24篇)、*Atmos Environ* (21篇)、*Energy Policy* (21篇)、*Environ Health Persp* (21篇)、*Environ Pollut* (21篇)。这些期刊在环境科学与健康领域知名度较高。HAP相关研究成果在这些

期刊上的发表,在一定程度上表明该领域研究在不断地解决科学前沿问题,同时也说明该问题与人类健康和福祉紧密相关,备受社会关注。

2.2 发文机构和作者分布特征

通过分析发文量较大(排名前15)的机构和作者(表1)可以发现,本领域的研究团队有来自美国、英国和加拿大等发达国家的研发团队,也有来自中国、印度等发展中国家的团队。研究机构和作者的合作关系分析可以反映研究团队或群体之间的合作紧密性,结果如图2所示。图2中每个圆圈代表一个机构或作者。圆圈越大说明发文量越多,圆圈之间连线越多说明合作越广泛,而连线越粗表示合作越紧密。从图2可以看到中外机构合作仍较缺乏。从作者合作网络可以看出,比较活跃的研究团队包括KIRK R. SMITH团队、SHU TAO团队、GUOFENG SHEN团队、JILL BAUMGARTNER团队和QING LAN团队等。这些团队的研究工作在一定程度上能代表领域内研究发展的趋势、重点和热点。但各大研究团队之间连线较少,说明虽然有合作但相对较少。

2.3 高频关键词和高引用文章分析

2.3.1 高频关键词

关键词是反映论文主题概念的词或词组,是对全文内容(目的、方法、结果、讨论)的精华提炼。关键词在一定程度上也反映研究的热点。在CiteSpace中Node types选取Keyword进行可视化分析,得到出现频率最高的关键词(图3)。从高频关键词中可看出:①发展中国家(尤其是中国和印度)备受关注(图3中红色);②固体燃料、生物质燃料、炉灶类型是常被分

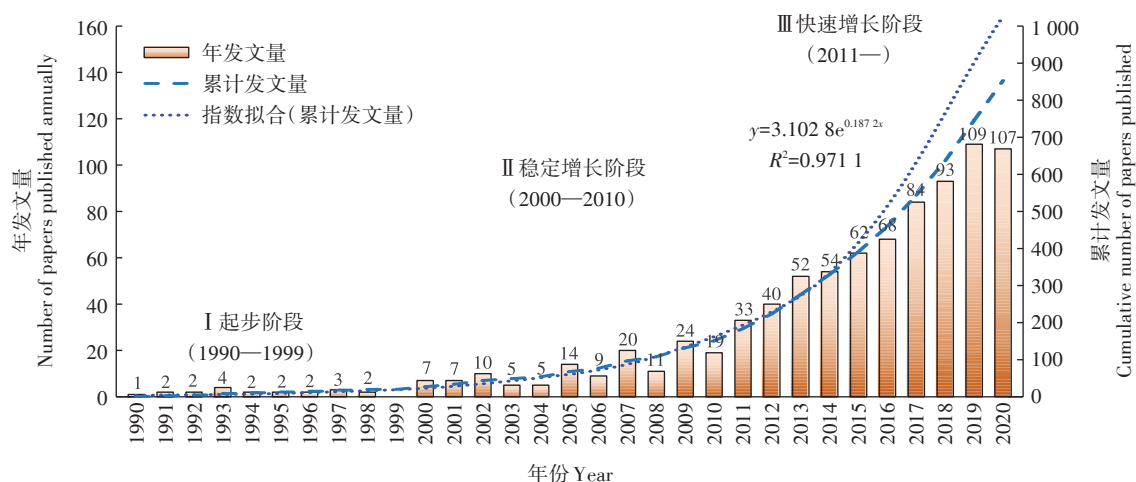


图1 1990—2020年HAP领域发文量(数据来源WOS)

Figure 1 Number of papers published on HAP from 1990 to 2020(from WOS database)

表1 发文量最多的前15个机构及作者分布(数据来源WOS)

Table 1 Distribution of Top15 institutions and authors of publications in HAP

机构 Institution	发文量 Number of publications	作者 Author	发文量 Number of publications
University of California, Berkeley	62	KIRK R. SMITH	36
Peking University	47	SHU TAO	26
University of Liverpool	32	GUOFENG SHEN	26
Tsinghua University	31	MAJID EZZATIB	21
Johns Hopkins University	28	JILL BAUMGARTNER	20
McGill University	22	WILLIAM CHECKLEY	19
University of California, San Francisco	22	NIGEL BRUCE	15
Colorado State University	21	QING LAN	15
University of British Columbia	20	JAMES J. SCHAUER	15
Columbia University	19	AJAY PILLARISETTIA	14
Emory University	18	MICHAEL BRAUER	14
National Cancer Institute	18	DANIEL POPE	13
University of Minnesota	18	XUDONG YANG	13
Chinese Academy of Sciences	17	KALPANA BALAKRISHNAN	12
University of Wisconsin	17	KRISTIN AUNAN	11

析的影响因素(图3中黄色);③颗粒物、一氧化碳、多环芳烃是研究关注较多的污染物(图3中蓝色);④暴露及疾病负担、健康风险以及对敏感人群(妇女和儿童)的健康危害也是研究重点(图3中绿色)。

2.3.2 共被引文献分析

共被引分析是指对收集到的文献中的参考文献进行分析。被引次数越高通常说明其影响力越大,若两篇或多篇文献同时被多篇文献引用,说明被引文献之间联系紧密。用CiteSpace软件得到被引频次和中心性最高的10篇文献分别列于表2和表3中。这部分文献通常是该领域发展中具有重要参考价值的研究。基于以上结果绘制出聚类图谱(图4)。聚类模块值(Q)=0.827 2,说明聚类结构显著;聚类平均轮廓值(S)=0.909 7,说明聚类具有较高的可信度^[14]。从这些引用多且与其他文献关联度高的文献题目、关键词及聚类图谱信息可见,HAP研究中关注度高(引用次数高)的工作基本可归纳为固体燃料使用、污染暴露定量和健康风险评估三大类。

(1)针对固体燃料使用情况,BONJOUR等^[1]测算了全球使用固体燃料进行炊事的人数和比例,该研究指出虽然使用固体燃料的人群占比逐年下降,但绝对人口数仍然巨大且基本稳定在30亿左右。世界卫生组织和一些发表在国际一流杂志上的综述或研究论文^[33-34]都引用该研究数据以强调仍有大量的人群在使用固体燃料,暴露于严重的室内污染环境。据此,大量的文献对炉灶和燃料使用的经济和社会因素进

行了调查^[26],对清洁炉灶和燃料的推进和阻碍因素进行了分析^[19,23,29]。REHFUESS等^[29]在文献总结基础上指出,影响燃料和炉灶使用的因素可归纳为七大类:①燃料和技术特征;②家庭和环境特征;③知识和观念;④财政、税收和补贴;⑤市场发展;⑥监管、立法和标准;⑦政策导向。与此同时,国内外诸多研究对不同类型的炉灶和燃料的排放特征进行了分析,得到了排放因子基础数据,为排放测算、污染模拟和影响评估等后续工作奠定了基础。

(2)呼吸暴露测定常采用两类方法:根据室内外污染物浓度和停留时间来估算,或通过受试者携带个体采样器测定。一般认为,后者在暴露定量方面更为准确。GORDON等^[9]综述了HAP暴露的测定方法,指出定点采样结果会受性别、年龄、家庭角色、地点等因素的影响,从而造成暴露测量的偏差,因而推荐采用个体采样方法以准确量化暴露风险。CLARK等^[11]提出在该领域研究中应优先考虑暴露的时空差异、新测量技术方法的开发验证、生物标志物的探索。这些工作作为后续暴露研究提供了重要参考价值,如开发低成本空气质量传感器^[35]、测定不同国家/地区使用不同燃料家庭的人群暴露情况^[36-37]、生物标记物的开发和验证^[38]。SMITH等^[8]介绍了全球疾病负担(GBD)项目中如何在全球和区域的HAP综合风险评估体系中构建和模拟全球HAP暴露,指出HAP综合风险评估体系由全球固体燃料使用模型、HAP居室浓度和个体暴露模型以及HAP对环境空气污染贡献的全球模型组成。

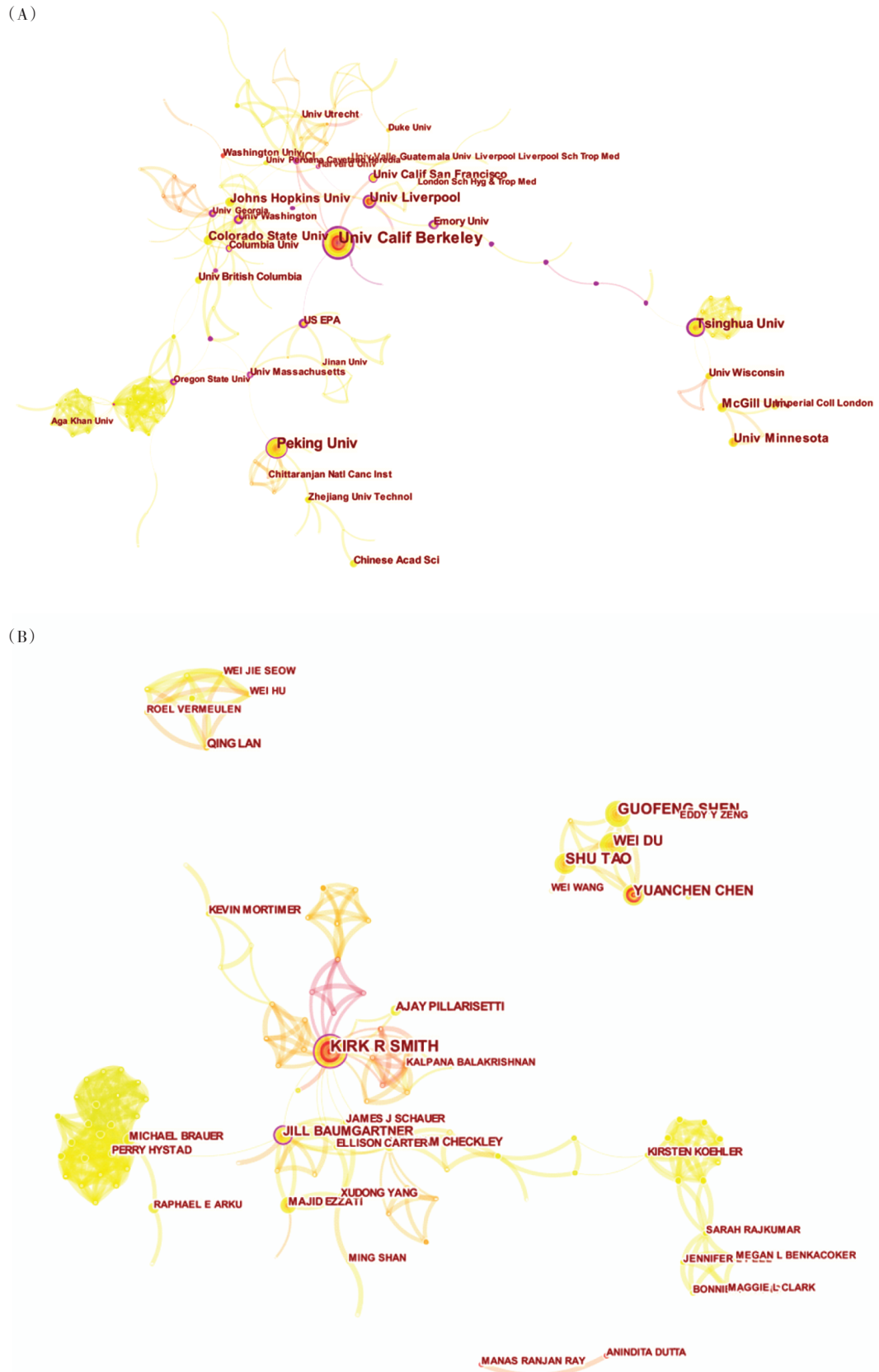


图2 HAP研究领域发文机构(A)和作者(B)合作关系

Figure 2 Network of publication institutions(A) and authors(B) in the area of HAP

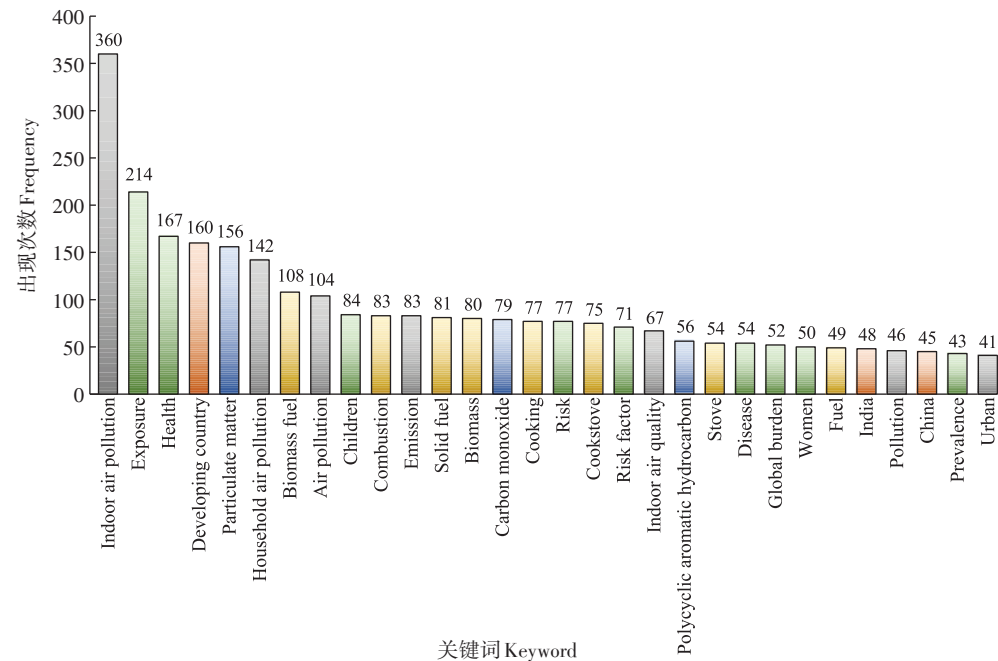


图3 排名前30的高频关键词
Figure 3 TOP 30 keywords with the high frequency

表2 被引频次最高的10篇共被引文献
Table 2 TOP10 references with highly cited frequency

被引频次 Cited frequency (2021-02-05)	标题 Title	第一作者 First author	期刊(出版年) Journal(Published year)
118	A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990—2010: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010	LIM S S ^[18]	<i>Lancet</i> (2012)
82	Solid fuel use for household cooking: Country and regional estimates for 1980—2010	BONJOUR S ^[1]	<i>Environ Health Persp</i> (2013)
73	Millions dead: how do we know and what does it mean? Methods used in the comparative risk assessment of household air pollution	SMITH K R ^[8]	<i>Annu Rev Publ Health</i> (2014)
60	Who adopts improved fuels and cookstoves? A systematic review	LEWIS J J ^[19]	<i>Environ Health Persp</i> (2012)
57	Woodsmoke health effects: A review	NAEHER L P ^[20]	<i>Inhal Toxicol</i> (2007)
57	Effect of reduction in household air pollution on childhood pneumonia in Guatemala (RESPIRE): A randomised controlled trial	SMITH K R ^[21]	<i>Lancet</i> (2011)
53	Respiratory risks from household air pollution in low and middle income countries	GORDON S B ^[9]	<i>Lancet Resp Med</i> (2014)
43	Indoor air pollution from biomass fuel smoke is a major health concern in the developing world	FULLERTON D G ^[22]	<i>T Roy Soc Trop Med H</i> (2008)
42	Health and household air pollution from solid fuel use: The need for improved exposure assessment	CLARK M L ^[11]	<i>Environ Health Persp</i> (2013)
41	Adoption and sustained use of improved cookstoves	RUIZ-MERCADO I ^[23]	<i>Energ Policy</i> (2011)

为降低结果的不确定性,应加强对低浓度PM_{2.5}的监测,更加关注监测仪和监测方法的开发。

(3)健康风险研究结果表明家庭固体燃料燃烧导致的空气污染是对发展中国家影响较大的环境风险因素^[18]。大量的流行病学调查和实证研究表明,固体燃料燃烧与多种呼吸道疾病、心脑血管疾病、肺癌等不良病症的发生密切相关。例如BATES等^[39]发现尼泊尔地区儿童急性下呼吸道感染的发生与生物质炉灶和煤油炉灶的使用有关,两种炉灶的人口归因分值分别为18.0%和18.7%。HUANG等^[40]通过Meta分析

表3 中心性最高的10篇共被引文献

Table 3 TOP10 references with the highest centrality

中心性 Centrality (2021-02-05)	标题 Title	第一作者 First author	期刊(出版年) Journal (Published year)
0.29	Respiratory disease associated with solid biomass fuel exposure in rural women and children; Systematic review and meta-analysis	PO J Y T ^[24]	<i>Thorax</i> (2011)
0.24	Improved biomass stove intervention in rural Mexico: Impact on the respiratory health of women	ROMIEU I ^[25]	<i>Am J Resp Crit Care</i> (2009)
0.21	Adoption and sustained use of improved cookstoves	RUIZ-MERCADO J ^[23]	<i>Energ Policy</i> (2011)
0.21	Fuelwood, forests and community management—evidence from household studies	COOKE P ^[26]	<i>Environ Dev Econ</i> (2008)
0.18	Cooking practices, air quality, and the acceptability of advanced cookstoves in Haryana, India: An exploratory study to inform large-scale interventions	MUKHOPADHYAY R ^[27]	<i>Global Health Action</i> (2012)
0.17	A major environmental cause of death	MARTIN W J ^[28]	<i>Science</i> (2011)
0.16	Enablers and barriers to large-scale uptake of improved solid fuel stoves: A systematic review	REHFUESS E A ^[29]	<i>Environ Health Persp</i> (2014)
0.15	Indoor air pollution and blood pressure in adult women living in rural China	BAUMGARTNER J ^[30]	<i>Environ Health Persp</i> (2011)
0.15	Lung function and symptoms among indigenous Mayan women exposed to high levels of indoor air pollution	DIAZ E ^[31]	<i>Int J Tuberc Lung D</i> (2007)
0.14	Highway proximity and black carbon from cookstoves as a risk factor for higher blood pressure in rural China	BAUMGARTNER J ^[32]	<i>P Natl Acad Sci USA</i> (2014)

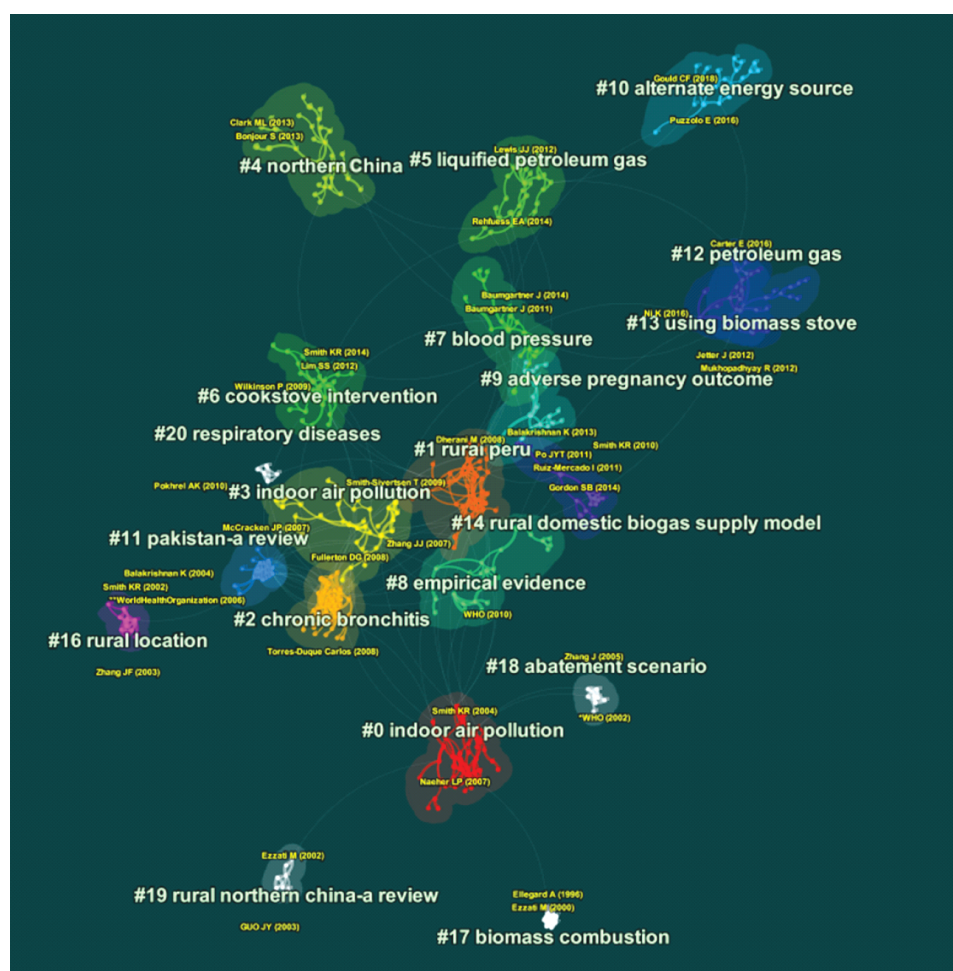


图4 共被引文献聚类图谱

Figure 4 Clusters of references co-citation network

发现,所调研的文献中固体燃料使用量最高的家庭心血管疾病风险比使用量最低的家庭高21%。HAP还会导致认知障碍和认知衰退,甚至增加老年人患抑郁症的风险^[41-42]。采取干预措施(使用清洁炉灶和燃料)会降低污染物浓度,减轻呼吸系统疾病的症状。一项基于中国人群的研究表明使用固体燃料会增加患心脑血管疾病的风险以及全因死亡率,改用清洁燃料和改进通风条件会显著降低该风险^[43]。因此,从个人和国家层面上推动清洁炉灶和燃料使用有助于降低健康风险。

2.3.3 关键词演变

图5为文献关键词的突现情况,可以反映出研究热点的变化。图中蓝色色块代表该关键词频次突然上升或下降的时间段。在2000—2010年间也有很多环境健康研究者注意到室内燃料燃烧造成的呼吸道疾病、心脑血管疾病与呼吸暴露的关系,从而开展了一些流行病学调查与实地研究。该阶段的关键词主要是发展中国家、室内空气污染、健康、妇女、CO、烟雾等。2010年以后,研究关注PM_{2.5}、黑碳等污染物以及暴露和健康影响,尤其是随机对照试验的研究越来越多,清洁炊事燃料的排放和环境健康影响研究也从此时开始受到关注。

炉灶(Cookstove)、清洁烹饪(Clean cooking)、木烟(Wood smoke)、煤(Coal)、PM_{2.5}、黑碳(Black carbon)等关键词与污染物排放状况紧密相关。个体暴露(Personal exposure)研究则将污染与呼吸道健康

(Respiratory health)、肺癌(Lung cancer)等风险联系起来。从这些关键词的演变过程可以概括出,领域内的研究呈现“污染-暴露-健康”三者结合,并从单纯污染表征到环境健康交叉研究的发展趋势。传统固体燃料燃用仍将是发展中国家农村地区突出的生态环境和发展问题,但无论是在能源转型的国际大背景下,还是在国家政策和行动推动的清洁化过程中,居民生活能源的清洁化都会直接降低大部分污染物的排放,包括与健康危害紧密相关的PM_{2.5},以及与辐射强迫有很大关联的棕色碳和黑碳等物质。因此,清洁能源转型带来的环境健康与气候协同效益是领域内研究的一个热点。

从这些关键词中也可以看出,某些方面仍存在研究不系统或不深入的情况:①利用低成本的传感器技术开展高时空分辨率的室内污染研究还较少;②缺乏室内燃烧过程与室内污染特征直接的定量关联(无组织泄漏排放)研究;③污染物理化性质(如粒径和重金属等组分)及环境持久性自由基等新污染物的研究工作还很欠缺;④室内空气模拟及影响研究中亟需开发适用于区域尺度的室内空气质量模拟(如统计模型和灰度模型)。

3 结论

本文采用文献计量方法,借助Citespace软件对固体燃料使用造成的农村室内空气污染研究进行了梳理,通过对历史发展和关注重点的分析发现:

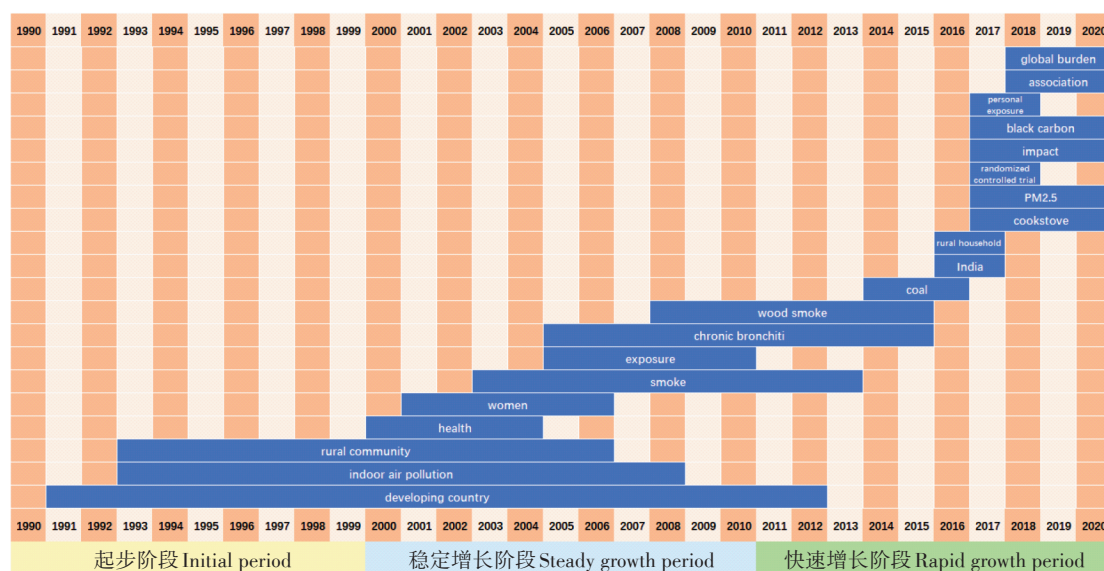


图5 关键词突现图

Figure 5 TOP25 keywords with the highest citation bursts

(1)室内空气污染研究领域发文量呈指数增长趋势,表明研究受到越来越多的关注,当前正处于蓬勃发展的阶段。该领域研究较为活跃的机构主要来自美国和中国,国内外相关研究机构虽有直接合作,但合作深度相对有限。

(2)关键词的分析结果显示,发展中国家农村地区的室内污染、人群暴露和健康风险评估是室内空气污染研究领域的热点。高被引文献和高中心性文献都与这些关键词密切相关。研究关注的重点呈现“污染-暴露-健康”三者相结合的趋势。建议在后续研究中注重过程链研究,清洁能源转型、环境-健康-气候的协同效益等是值得关注的重点。

参考文献:

- [1] BONJOUR S, ADAIR-ROHANI H, WOLF J, et al. Solid fuel use for household cooking: Country and regional estimates for 1980—2010[J]. *Environmental Health Perspectives*, 2013, 121(7): 784–790.
- [2] DUAN X, JIANG Y, WANG B, et al. Household fuel use for cooking and heating in China: Results from the first Chinese Environmental Exposure-Related Human Activity Patterns Survey (CEERHAPS)[J]. *Applied Energy*, 2014, 136: 692–703.
- [3] LI Q, JIANG J, QI J, et al. Improving the energy efficiency of stoves to reduce pollutant emissions from household solid fuel combustion in China[J]. *Environmental Science & Technology Letters*, 2016, 3(10): 369–374.
- [4] MUTLU E, WARREN S H, EBERSVILLER S M, et al. Mutagenicity and pollutant emission factors of solid-fuel cookstoves: Comparison with other combustion sources[J]. *Environmental Health Perspectives*, 2016, 124(7): 974–982.
- [5] LUO Z, ZHANG L, LI G, et al. Evaluating co-emissions into indoor and outdoor air of EC, OC, and BC from in-home biomass burning[J]. *Atmospheric Research*, 2021, 248: 105247.
- [6] SHEN G, DU W, LUO Z, et al. Fugitive Emissions of CO and PM_{2.5} from indoor biomass burning in chimney stoves based on a newly developed carbon balance approach[J]. *Environmental Science & Technology Letters*, 2020, 7(3): 128–134.
- [7] GBD. Global burden of disease study 2019 (GBD 2019) results[EB/OL].[2021-05-28]. <https://vizhub.healthdata.org/gbd-compare/>.
- [8] SMITH K R, BRUCE N, BALAKRISHNAN K, et al. Millions dead: How do we know and what does it mean? Methods used in the comparative risk assessment of household air pollution[J]. *Annual Review of Public Health*, 2014, 35: 185–206.
- [9] GORDON S B, BRUCE N G, GRIGG J, et al. Respiratory risks from household air pollution in low and middle income countries[J]. *Lancet Respiratory Medicine*, 2014, 2(10): 823–860.
- [10] HADLEY M B, BAUMGARTNER J, VEDANTHAN R. Developing a clinical approach to air pollution and cardiovascular health[J]. *Circulation*, 2018, 137(7): 725–742.
- [11] CLARK M L, PEEL J L, BALAKRISHNAN K, et al. Health and household air pollution from solid fuel use: The need for improved exposure assessment[J]. *Environmental Health Perspectives*, 2013, 121(10): 1120–1128.
- [12] DU W, LI X, CHEN Y, et al. Household air pollution and personal exposure to air pollutants in rural China: A review[J]. *Environmental Pollution*, 2018, 237: 625–638.
- [13] EPA. Indoor air quality (IAQ)[EB/OL].[2021-05-28]. <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/introduction-indoor-air-quality#sources>.
- [14] 李杰, 陈超美. CiteSpace: 科技文本挖掘及可视化[M]. 二版. 北京: 首都经济贸易大学出版社, 2016. LI J, CHEN C M. CiteSpace: Text mining and visualization in scientific literature[M]. 2nd Edition. Beijing: Capital University of Economics and Business Press, 2016.
- [15] SYNNESTVEDT M B, CHEN C, HOLMES J H. CiteSpace II: Visualization and knowledge discovery in bibliographic databases[C]. AMIA Symposium, 2005: 724–728.
- [16] CHEN C, CHEN Y, HOU J, et al. CiteSpace I: Detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature[J]. *Journal of the China Society for Scientific and Technical Information*, 2009, 28(3): 401–421.
- [17] SHNEIDER A M. Four stages of a scientific discipline: Four types of scientist[J]. *Trends in Biochemical Sciences*, 2009, 34(5): 217–223.
- [18] LIM S S, VOS T, FLAXMAN A D, et al. A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990–2010: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010[J]. *Lancet*, 2012, 380(9859): 2224–2260.
- [19] LEWIS J J, PATTANAYAK S K. Who adopts improved fuels and cookstoves? A systematic review[J]. *Environmental Health Perspectives*, 2012, 120(5): 637–645.
- [20] NAEHER L P, BRAUER M, LIPSETT M, et al. Woodsmoke health effects: A review[J]. *Inhalation Toxicology*, 2007, 19(1): 67–106.
- [21] SMITH K R, MCCracken J P, WEBER M W, et al. Effect of reduction in household air pollution on childhood pneumonia in Guatemala (RESPIRE): A randomised controlled trial[J]. *Lancet*, 2011, 378(9804): 1717–1726.
- [22] FULLERTON D G, BRUCE N, GORDON S B. Indoor air pollution from biomass fuel smoke is a major health concern in the developing world[J]. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 2008, 102(9): 843–851.
- [23] RUIZ-MERCADO I, MASERA O, ZAMORA H, et al. Adoption and sustained use of improved cookstoves[J]. *Energy Policy*, 2011, 39(12): 7557–7566.
- [24] PO J Y T, FITZGERALD J M, CARLSTEN C. Respiratory disease associated with solid biomass fuel exposure in rural women and children: Systematic review and meta-analysis[J]. *Thorax*, 2011, 66(3): 232–239.
- [25] ROMIEU I, RIOJAS-RODRIGUEZ H, TERESA MARRON-MARES A, et al. Improved biomass stove intervention in rural Mexico: Impact on the respiratory health of women[J]. *American Journal of Respiratory*

- and *Critical Care Medicine*, 2009, 180(7):649–656.
- [26] COOKE P, KOHLIN G, HYDE W F. Fuelwood, forests and community management—evidence from household studies[J]. *Environment and Development Economics*, 2008, 13(1):103–135.
- [27] MUKHOPADHYAY R, SAMBANDAM S, PILLARISSETTI A, et al. Cooking practices, air quality, and the acceptability of advanced cookstoves in Haryana, India: An exploratory study to inform large-scale interventions[J]. *Global Health Action*, 2012, 5:1–13.
- [28] MARTIN W J, GLASS R I, BALBUS J M, et al. A major environmental cause of death[J]. *Science*, 2011, 334(6053):180–181.
- [29] REHFUESS E A, PUZZOLO E, STANISTREET D, et al. Enablers and barriers to large-scale uptake of improved solid fuel stoves: A systematic review[J]. *Environmental Health Perspectives*, 2014, 122(2):120–130.
- [30] BAUMGARTNER J, SCHAUER J J, EZZATI M, et al. Indoor air pollution and blood pressure in adult women living in rural China[J]. *Environmental Health Perspectives*, 2011, 119(10):1390–1395.
- [31] DIAZ E, BRUCE N, POPE D, et al. Lung function and symptoms among indigenous Mayan women exposed to high levels of indoor air pollution[J]. *International Journal of Tuberculosis and Lung Disease*, 2007, 11(12):1372–1379.
- [32] BAUMGARTNER J, ZHANG Y, SCHAUER J J, et al. Highway proximity and black carbon from cookstoves as a risk factor for higher blood pressure in rural China[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2014, 111(36):13229–13234.
- [33] World Health Organization. Indoor air quality guidelines: Household fuel combustion(2014)[EB/OL].[2021-05-28]. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241548885>.
- [34] CARTER E, YAN L, FU Y, et al. Household transitions to clean energy in a multiprovincial cohort study in China[J]. *Nature Sustainability*, 2020, 3(1):42–50.
- [35] CURTO A, DONAIRE-GONZALEZ D, BARRERA-GOMEZ J, et al. Performance of low-cost monitors to assess household air pollution[J]. *Environmental Research*, 2018, 163:53–63.
- [36] SHUPLER M, HYSTAD P, BIRCH A, et al. Household and personal air pollution exposure measurements from 120 communities in eight countries: Results from the PURE-AIR study[J]. *Lancet Planetary Health*, 2020, 4(10):E451–E462.
- [37] JOHNSON M A, STEENLAND K, PIEDRAHITA R, et al. Air pollutant exposure and stove use assessment methods for the household air pollution intervention network (HAPIN) trial[J]. *Environmental Health Perspectives*, 2020, 128:0470094.
- [38] CLASEN T, CHECKLEY W, PEEL J L, et al. Design and rationale of the HAPIN study: A multicountry randomized controlled trial to assess the effect of liquefied petroleum gas stove and continuous fuel distribution[J]. *Environmental Health Perspectives*, 2020, 128:0470084.
- [39] BATES M N, CHANDYO R K, VALENTINER-BRANTH P, et al. Acute lower respiratory infection in childhood and household fuel use in Bhaktapur, Nepal[J]. *Environmental Health Perspectives*, 2013, 121(5):637–642.
- [40] HUANG S, GUO C, QIE R, et al. Solid fuel use and cardiovascular events: A systematic review and meta-analysis of observational studies[J]. *Indoor Air*, 2021, 31(6):1722–1732.
- [41] DENG Y, YANG T, GAO Q, et al. Cooking with biomass fuels increased the risk for cognitive impairment and cognitive decline among the oldest-old Chinese adults (2011–2018): A prospective cohort study[J]. *Environment International*, 2021, 155:106593.
- [42] CHEN H, CHEN L, HAO G. Sex difference in the association between solid fuel use and cognitive function in rural China[J]. *Environmental Research*, 2021, 195:110820.
- [43] ZHOU Y, ZOU Y, LI X, et al. Lung function and incidence of chronic obstructive pulmonary disease after improved cooking fuels and kitchen ventilation: A 9-year prospective cohort study[J]. *PLoS Medicine*, 2014, 11(3):e1001621.