Eco-Environmental
Knowledge Web

环境科学
ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV
HUANJING KEXUE

■ 主办 中国科学院生态环境研究中心
■ 出版 科学出版社

双奖期刊
中华人民共和国新闻出版总署

2020
Vol.41 No.8
第41卷 第8期

环境科学
(HUANJING KEXUE)
ENVIRONMENTAL SCIENCE
第41卷　第8期
2020年8月15日

目　次

首都重大活动与空气重污染应急减排措施效果对比分析 …… 钟嶷盛，周颖，程水源，王晓琦，邵玄逸(3449)
基于天津市在线数据评估 ISORROPIA-Ⅱ模式结果及气溶胶 pH 的影响因素 …… 高洁，史旭荣，卫昱婷，宋少洁，史国良，冯银厂(3458)
餐饮源有机颗粒物排放特征 …… 李源遽，吴爱华，童梦雪，栾胜基，李鸷，胡敏(3467)
华中地区黄冈市一次重度污染期间 $PM_{2.5}$ 中 12 种微量元素特征及来源解析 …… 陈展乐，田倩，毛瑶，刘威杰，石明明，程铖，胡天鹏，邢新丽，祁士华，胡金旭(3475)
艾比湖地区气溶胶光学特性分析 …… 张喆，丁建丽，王瑾杰(3484)
天津市冬季重污染二次有机化学污染特征及 VOCs 对 SOA 生成潜势 …… 徐虹，唐邈，肖致美，高璟赟，杨宁，李立伟，郑乃源，陈魁，邓小文(3492)
郑州市某城区冬季不同污染水平大气 VOCs 特征及源解析 …… 李一丹，尹沙沙，张瑞芹，于世杰，杨健，张栋(3500)
长江三角洲 2010～2018 年生物质燃烧中等挥发性有机物(IVOCs)排放清单 …… 朱永慧，王倩，黄凌，殷司佳，李莉，王杨君(3511)
北方常见绿化树种 BVOCs 排放特征及其与光合作用参数的相关性 …… 许燕，李双江，袁相洋，冯兆忠(3518)
广州地区秋季不同站点类型地面臭氧变化特征与影响因子 …… 高平，庄立跃，王龙，陈瑜萍，闫慧，沈劲，范丽雅，叶代启(3527)
泰安市大气臭氧污染特征及敏感性分析 …… 李凯，刘敏，梅如波(3539)
有色冶炼园区道路扬尘中重金属污染特征及健康风险评价 …… 冯于耀，史建武，钟曜谦，韩新宇，封银川，任亮(3547)
西安市高校校园地表灰尘重金属污染来源解析 …… 樊馨瑶，卢新卫，刘慧敏，秦青(3556)
超低排放高湿废气总颗粒物监测方法及燃气电厂实际测试 …… 胡月琪，颜旭，孔川，张虎，邬晓东(3563)
厦门市船舶控制区大气污染物排放清单与污染特征 …… 王坚，黄厔，刘艳英，陈森阳，吴艳聪，何月云，杨心怡(3572)
基于交通流的成都市高分辨率机动车排放清单建立 …… 潘玉瑾，李媛，陈军辉，石嘉诚，田红，张季，周敬，陈霞，刘政，钱骏(3581)
基于无人机多光谱影像和 OPT-MPP 算法的水质参数反演 …… 黄昕晰，应晗婷，夏凯，冯海林，杨垠晖，杜晓晨(3591)
不同水体分层对沉积物间隙水氮素垂向分布影响：以三峡水库和小湾水库为例 …… 刘静思，朱晓声，胡子龙，张思思，杨正健，纪道斌，刘德富(3601)
城市河道表层水及沉积物中微塑料的污染现状与污染行为 …… 赵昕，陈浩，贾其隆，沈忱思，朱弈，李磊，聂云汉，叶建锋(3612)
上海河道浮游植物群落结构时空变化特征及影响因素分析 …… 许志，陈小华，沈根祥，朱英，钱晓雍，张心良，张卫，胡双庆，白玉杰(3621)
过氧化钙(CaO_2)联合生物炭对河道底泥的修复 …… 李雨平，姜莹莹，刘宝明，阮文权，缪恒锋(3629)
基于双同位素($\delta^{15}N\text{-}NO_3^- \text{-} \delta^{18}O\text{-}NO_3^-$)和 IsoSource 模型的岩溶槽谷区地下水硝酸盐来源的定量示踪 …… 徐璐，蒋勇军，段世辉，何瑞亮(3637)
三峡库区规模化顺坡沟垄果园氮、磷输出过程及流失负荷 …… 严坤，王玉宽，刘勤，徐佩，闫洋洋(3646)
高度城镇化地区城市小区降雨径流污染特征及负荷估算 …… 高斌，许有鹏，陆苗，林芷欣，徐兴(3657)
Fe@GOCS 的制备及其对水中As(Ⅲ)的吸附 …… 赵超然，单慧媚，曾春芽，张进贤，彭三曦(3665)
微塑料对水中铜离子和四环素的吸附行为 …… 薛向东，王星源，梅雨晨，庄海峰，宋亚丽，方程冉(3675)
多孔填料特性对生物膜形成影响 …… 江宇勤，厉炯慧，方治国(3684)
硝化生物膜系统对低温的适应特性：MBBR 和 IFAS …… 李韧，于莉芳，张兴秀，戴子承，滑思思，彭党聪(3691)
单质硫自养短程反硝化耦合厌氧氨氧化强化脱氮 …… 方文烨，李祥，黄勇，郭超然，胡羽婷，陶仁杰(3699)
间歇梯度曝气的生活污水好氧颗粒污泥脱氮除磷 …… 张玉君，李冬，李帅，张杰(3707)
基于不同废污泥源的短程反硝化快速启动及稳定性 …… 张星星，王超超，王垚，徐乐中，吴鹏(3715)
基于 AHP-PROMETHEE Ⅱ法的鸟粪石磷回收污泥预处理方案决策 …… 刘晓蕾，李安婕(3725)
零价铁对厌氧消化过程中氨氮抑制解除的影响 …… 刘吉宝，牛雨彤，郁达伟，谭颖锋，左壮，魏源送(3731)
基于厌氧膜生物反应器的剩余污泥-餐厨垃圾厌氧共消化性能 …… 戴金金，牛承鑫，潘阳，陆雪琴，甄广印，郑朝婷，张瑞良，何欣昱(3740)
亚剂量抗生素诱导抗性基因水平迁移 …… 袁其懿，CHEN Hong-jie，Laurence Haller，何义亮(3748)
四环素胁迫对 *Shigella flexneri* 细菌四环素抗性基因抗性表达的影响过程 …… 高品，阮晓慧，邱文婕，薛罡，钱雅洁(3758)
羟胺对氨氧化菌和亚硝酸盐氧化菌的竞争性选择 …… 乔昕，王博，郭媛媛，彭永臻(3765)
高温冲击对亚硝酸盐氧化过程中微生物菌群结构影响 …… 侯晓薇，牛永健，李维维，王光杰，孙洪伟(3773)
微生物种间相互作用产生锰氧化的普适性及其潜在应用 …… 宁雪，梁金松，柏耀辉，廖恺玲俐，刘会娟，曲久辉(3781)
三亚河红树林表层沉积物中好氧氨氧化微生物的分布特征及潜在硝化速率 …… 罗晴，甄毓，彭宗波，贺惠(3787)
臭氧污染对水稻生长、产量及矿质金属元素含量的影响 …… 方笑堃，罗小三，张丹，吴礼春，邱丹，陈志炜，赵朕(3797)
改变碳输入对新疆天山雪岭云杉林土壤呼吸的短期影响 …… 邵康，贡璐，何学敏，陈文静，张雪妮，朱海强(3804)
有机无机肥配施对不同程度盐渍土 N_2O 排放的影响 …… 周慧，史海滨，郭珈玮，张文聪，王维刚(3811)
原位电阻热脱附土壤升温机制及影响因素 …… 葛松，孟宪荣，许伟，施维林(3822)
羽序灯心草作为酸性矿山废弃地先锋植物潜力 …… 黄建洪，伏江丽，严鑫睿，尹凤，田森林，宁平，李英杰(3829)
滴灌方式和生物质炭对温室土壤矿质态氮及其微生物调控的影响 …… 蔡九茂，刘杰云，邱虎森，吕谋超，周新国(3836)
棉秆炭调控对碱性镉污染水稻根际土壤真菌群落结构和功能的影响 …… 刘师豆，韩耀光，朱新萍，吴相南(3846)
不同水分管理模式联合叶面喷施硅肥对水稻 Cd 累积的影响 …… 魏宾纭，周航，刘佳炜，张竞颐，黄芳，霍洋，胡雨丹，辜娇峰，刘俊，廖柏寒(3855)
螯合剂 GLDA 对象草修复镉污染农田的影响 …… 覃建军，唐盛爽，蒋凯，黄敬，侯红波，龙坚，彭佩钦(3862)
种植业面源污染防控技术发展历程分析及趋势预测 …… 俞映倞，杨林章，李红娜，朱昌雄，杨根，薛利红(3870)
《环境科学》征订启事(3636)　　《环境科学》征稿简则(3764)　　信息(3538，3628，3724)

万方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

环 境 科 学
Environmental Science
第41卷第8期 2020年8月
Vol.41, No.8 Aug., 2020

长江三角洲 2010 ~ 2018 年生物质燃烧中等挥发性有机物(IVOCs)排放清单

朱永慧, 王倩, 黄凌*, 殷司佳, 李莉, 王杨君
(上海大学环境与化学工程学院, 环境污染与健康研究所, 上海 200444)

摘要: 中等挥发性有机物(IVOCs)是一类重要的二次有机气溶胶(SOA)的前体物.其中,生物质燃烧是 IVOCs 的重要来源之一,但目前尚未包括在传统的排放清单中.本研究基于卫星火点排放清单(FINN)以及 IVOCs/POA 比例法对长三角地区 2010 至 2018 年生物质燃烧 IVOCs 的排放量进行估算,构建长三角地区 2010 ~ 2018 年基于卫星火点的生物质燃烧 IVOCs 排放清单,并分析其不确定性,为后续模拟长三角地区 SOA 的来源提供重要的基础数据.结果表明,在 2010 ~ 2018 年期间,长三角地区火点数整体呈现下降趋势,在过去 3 年(2016 ~ 2018 年)火点数维持在6 000次左右,较 2016 年之前下降了约 60%.从火点数的月分布来看,火点发生最多的月份是 5 ~ 8 月,其次在 10 月有个小高峰.基于 IVOCs/POA 比例系数法的计算结果表明,由不同的 POA/OC 以及 IVOCs/POA 比例得到的长三角地区生物质燃烧 IVOCs 排放总量结果差别巨大,平均值为 73.4 万 t(10.5 ~ 305.7 万 t).基于蒙特卡罗的不确定性模拟,长三角地区生物质燃烧 IVOCs 排放量的不确定范围在 -99% ~ 68% 之间.

关键词: 生物质燃烧; 中等挥发性有机物(IVOCs); 排放清单(FINN); 卫星火点; 长江三角洲
中图分类号: X51 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3301(2020)08-3511-07 **DOI:** 10.13227/j.hjkx.202001006

Emission Inventory of Intermediate Volatility Organic Compounds (IVOCs) from Biomass Burning in the Yangtze River Delta During 2010-2018

ZHU Yong-hui, WANG Qian, HUANG Ling*, YIN Si-jia, LI Li, WANG Yang-jun
(Institute of Environmental Pollution and Health, School of Environmental and Chemical Engineering, Shanghai University, Shanghai 200444, China)

Abstract: Intermediate volatility organic compounds (IVOCs) are important precursors of secondary organic aerosols (SOA) but are currently not included in the conventional emissions inventories. Biomass burning represents an important source of IVOCs that could contribute to SOA formation. This study estimated the IVOC emissions from biomass burning in the Yangtze River Delta (YRD) region from 2010 to 2018 based on the fire inventory from NCAR (FINN) and the IVOCs/primary organic aerosol (POA) ratio reported in literature. During this period, the total number of fire events over the YRD region presented a declining trend, with an average of 10^4 fire events detected per year. During 2016-2018, the average number of fire events was approximately 6 000 per year, which was 60% less than that prior to 2016. In terms of the monthly variation, the period from May to August was the period with the most fires observed, which was followed by a small peak in October. The results calculated based on the IVOCs/POA ratio method showed that the IVOC emissions from biomass burning exhibited large differences with different combinations of POA/OC and IVOCs/POA ratios, ranging from a maximum of 305.7×10^4 t to as small as 10.5×10^4 t. Monte Carlo simulation revealed that the uncertainties associated with the IVOCs/POA ratio method range from -99% to 68%.

Key words: biomass burning; intermediate volatility organic compounds (IVOCs); fire inventory from NCAR (FINN); satellite fire spots; Yangtze River Delta region

大气细颗粒物($PM_{2.5}$,空气动力学直径小于 2.5 μm)对气候、人类健康和环境有着重要影响[1~5].在许多空气污染严重的地区,二次有机气溶胶(secondary organic aerosol, SOA)在$PM_{2.5}$中占比越来越高[6].例如,Cao 等[7]对珠江三角洲的研究表明,珠海地区的 SOC 占总 $PM_{2.5}$ 的 10.9%,广州的 SOC 占 $PM_{2.5}$的 11.9%; 徐昶[8]的研究发现上海地区二次有机气溶胶在颗粒物中的占比高达 29.4%.

SOA 的形成机制十分复杂,通常认为是由其前体物挥发性有机物(volatility organic compounds, VOCs)经气相化学反应生成半挥发性有机物后,经过气-粒分配凝结到已有颗粒物上形成[9].SOA 的前体物一般包括人为源排放的挥发性有机物(如苯、甲苯和二甲苯等)以及植物排放的 VOCs(如异戊二烯和单萜烯等).但近年的研究表明,基于这类前体物的 SOA 模拟效果往往不尽如人意,模式对 SOA 的模拟存在大幅度的低估[10~12].

Robinson 等[13]提出中间挥发性有机化合物(intermediate volatility organic compounds, IVOCs)是

收稿日期: 2020-01-02; **修订日期:** 2020-02-18
基金项目: 上海市青年科技英才扬帆计划项目(19YF1415600); 国家自然科学青年基金项目(41105102); 国家重点研发计划项目(2018YFC0213600)

作者简介: 朱永慧(1997 ~),女,硕士研究生,主要研究方向为大气污染成因分析, E-mail: zhuyonghui@shu.edu.cn
* 通信作者, E-mail: linghuang@shu.edu.cn

一类重要的 SOA 前体物,其有效饱和浓度(c^*)在 $10^3 \sim 10^6$ μg·m^{-3},这大致相当于 $C_{12} \sim C_{22}$ 正构烷烃的挥发度范围[14]. 有研究表明,尽管 IVOCs 只是 SOA 前体物的一小部分,但仍可以生成大量的 SOA[15~17]. 例如,Couvidat 等[18]的研究表明,利用传统模型(缺乏 IVOCs)对 SOA 进行模拟,得到 SOA 的产量低于观测值; Woody 等[19]的研究发现将 IVOCs 加入模型后,得到的 SOA 更接近于测量值. IVOCs 的主要来源包括生物质燃烧[20,21]、机动车排放[22,23]、工业[24]以及船舶[25]等. 其中,生物质燃烧排放的 IVOCs 占比可达 4.5%[26]. 生物质燃烧过程中会产生大量的一次污染物(如 CO 和 NO_x 等)以及二次污染物的前体物(如 VOCs 和 IVOCs),这些污染物会直接或间接影响太阳辐射从而改变大气的辐射平衡、大气光化学性质,造成严重的空气质量问题[27]. 近年来,许多学者对生物质燃烧的排放展开了研究. 例如,Stockwell 等[28]通过测量来自丛林、农作物残渣以及许多其他类型火灾的生物燃烧排放,提出了一套具有全球意义的生物质燃料的新排放因子;Chen 等[29]对生物质燃烧造成的对人体健康和空气质量的影响进行探讨. 在许多研究中,多是先得到一次有机气溶胶(primary organic aerosol, POA)或者某个 IVOCs 物种(如萘)的排放量,再基于 IVOCs/POA 或者 IVOCs/Nap 的比例对 IVOCs 的排放量进行估算[30,31]. 目前,IVOCs 未列入或被错误分类在传统的排放清单中,仅有个别研究了我国 IVOCs 的排放情况. 例如,Wu 等[26]首次编制了 2010 年珠江三角洲地区 S/IVOCs 排放清单,并用 WRF-Chem 模型模拟了 SOA 的形成,研究其在珠江三角洲地区的影响因素. 王倩等[32]构建长三角地区 2017 年机动车 IVOC 排放清单,并估算其对 SOA 生成潜势的影响.

近年来,由国家大气研究中心(national center atmospheric research, NCAR)开发的基于 Terra 和 Aqua 极地轨道卫星的野火排放清单(fire inventory from NCAR, FINN)[33,34]已用于许多模型研究中,以模拟火灾对化学和气候的影响. 例如,通过在 WRF-Chem 模型中使用 FINN 排放, Jiang 等[35]探讨了 2007 年 8 月在爱达荷州和蒙大拿州发生的一场野火事件中,火羽对臭氧化学的影响. Val Martin 等[36]将 FINN 排放与卫星观测结合使用,探讨了科罗拉多州火灾烟雾对空气质量以及区域气候的重要性.

长三角地区作为我国重点城市集群之一,人口数量庞大,经济发展迅猛,同时长期存在灰霾现象[27,37,38]. 目前,已有一些针对长三角地区的生物质燃烧排放的研究[32,39,40],但对长三角地区 IVOCs 的研究十分缺乏,也尚未建立完整的 IVOCs 源排放清单. 本文以长江三角洲地区作为研究对象,基于卫星火点排放模型(FINN)以及 IVOCs/POA 比例对 2010 ~ 2018 年长江三角洲地区的生物质燃烧 IVOCs 排放量进行估算,并分析其不确定性.

1 材料与方法

1.1 研究范围

本研究以 2010 ~ 2018 年为目标年份,研究区域为长江三角洲三省一市,即江苏省、浙江省、安徽省及上海市(图 1). 长三角地区是中国第一大经济区、全球重要的先进制造业基地, 2017 年长三角地区生物质(小麦、水稻、玉米、豆类以及油菜)产量达到 8 466.4万 t(数据来源:各市 2018 年统计年鉴),其中上海市占 1%,安徽省占 50%,浙江省占 8% 和江苏省占 41%.

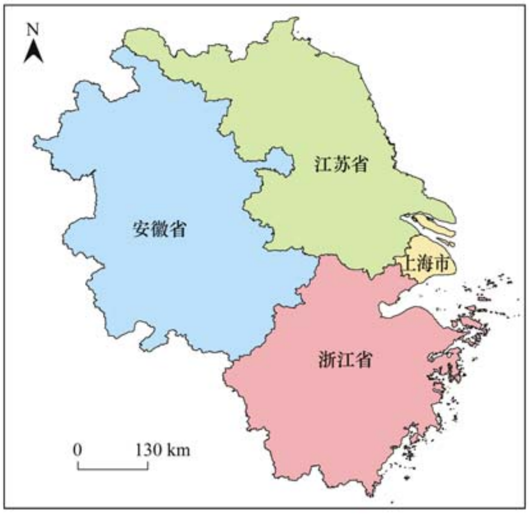


图 1 研究区域示意

Fig. 1 Map of the study area

1.2 基于卫星火点的生物质燃烧 IVOCs 的排放清单估算方法

1.2.1 基于卫星火点的排放清单(FINN)

野火排放清单提供了全球高时(日排放量)空(1 km × 1 km)的露天燃烧排放清单[33]. FINN 的排放量估算是基于 Wiedinmyer 等[34]描述的框架,利用卫星的探测并结合土地覆盖资料、排放因子以及燃料负荷,"自下而上"计算露天生物质燃烧的污染物排放量,其计算公式如下:

$$E_i = A(x,t) \times B(x) \times \mathrm{FB} \times \mathrm{ef}_i$$

式中,E_i 是生物质燃烧的排放量,$A(x, t)$ 是燃烧面积,$B(x)$ 是生物质载荷,FB 是燃烧因子,ef_i 是排放因子,i 指生物质燃烧排放的污染物种类, t 和 x 分

别指生物质燃烧发生的时间和地点[41].

1.2.2　IVOCs/POA 比例法

目前，IVOCs 的排放量的确定多是通过 IVOCs/POA 的比例法计算的. 例如，有研究中分别使用 0.25～2.8 倍 POA[42]、1.5 倍 POA[21,43,44]、4.5 倍 POA[45]及 0.83～5.57 倍 POA[46]作为生物质燃烧的 IVOCs 排放量.

(1)POA 的确定　本研究中的长三角生物质燃烧 OC 的排放量直接来自 FINN 野火排放清单. 不同的研究中使用的 POA/OC 比例不同，如 1.2[47]、1.4[48]和 1.57[45]. 本研究取 1.4 作为平均值计算.

(2)IVOCs 的计算　如表 1 所示，不同的研究在使用 POA 估算 IVOCs 排放量时选取的 IVOCs/POA 比值不同，且变化范围较大(0.25～5.57). 由于 IVOCs/POA 的比值选取不同，最终计算的 IVOCs 排放量差别巨大. 因此，本研究选取较多已有研究中的 IVOCs/POA 的比例(IVOCs/POA = 1.5)作为平均值进行初步估算，并且通过蒙特卡罗进一步分析其不确定性.

表 1　不同文献中 IVOCs/POA 比例

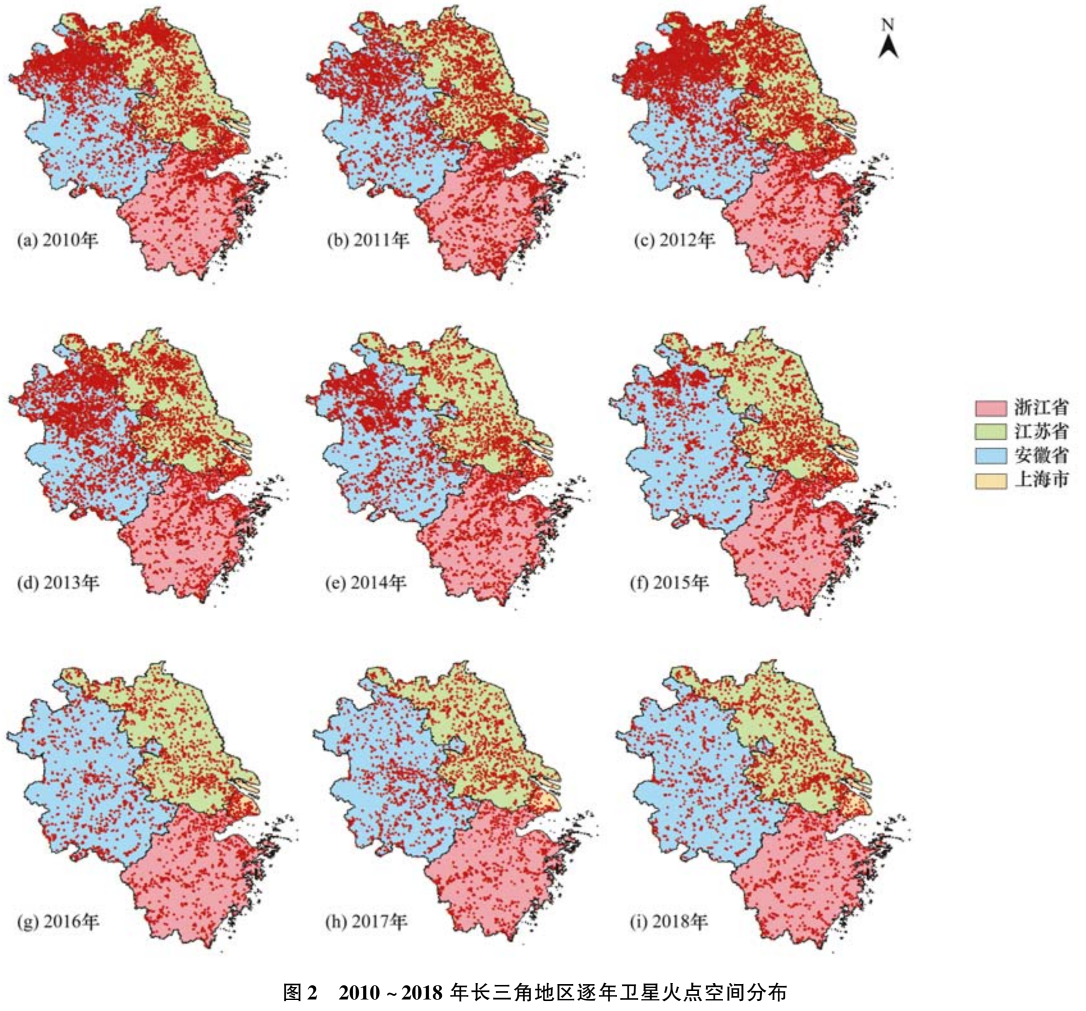
Table 1　IVOCs/POA ratio in different studies

IVOCs/POA	文献	IVOCs/POA	文献
0.25～2.8	[42]	4.5	[45]
1.5	[43]	0.83～5.57	[46]
1.5	[21]	0.75	[26]
1.5	[44]	4.75	[49]

2　结果与讨论

2.1　FINN 卫星火点结果分析

图 2 为 FINN 模型得到的 2010～2018 年生物质燃烧火点的空间分布. 2014 年以前长三角地区北部火点非常密集. 这是由于安徽省是农业大省，且以水稻与小麦秸秆为主，会出现大范围的秸秆燃烧. 2014 年以后，长三角火点分布明显减少，2016～2018 年维持着较低的火点分布. 从时间分布上看，2010～2018 年长三角地区火点数整体呈现下降趋势(图 3)，过去 3 a(2016～2018 年)火点数维持在 6 000左右，与 2016 年之前的火点数相比，下降了约 60%，这很大程度上是由于文献[50]的发布，致使长三角地区自 2013 年起纷纷出台相应的禁止焚烧秸



(a) 2010年　(b) 2011年　(c) 2012年

(d) 2013年　(e) 2014年　(f) 2015年

(g) 2016年　(h) 2017年　(i) 2018年

图 2　2010～2018 年长三角地区逐年卫星火点空间分布

Fig. 2　Spatial distribution of satellite fire spots in the Yangtze River Delta from 2010 to 2018

秆等政策. 图3 为 2010 ~ 2018 年期间每年的火点数量.

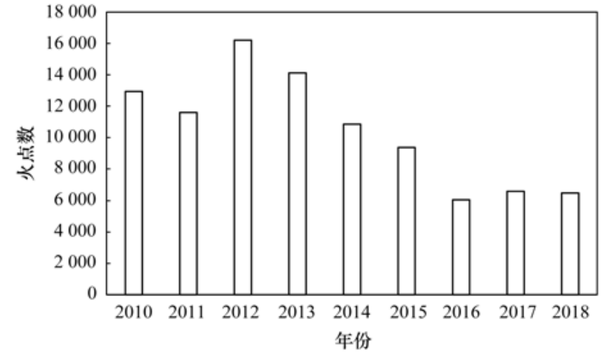


图3 2010 ~ 2018 年长三角地区逐年卫星火点数变化

Fig. 3 Annual variation of satellite fire spots in the Yangtze River Delta from 2010 to 2018

2.2 2010 ~ 2018 年生物质燃烧 IVOCs 排放量

图4 为 2010 ~ 2018 年长三角地区逐年生物质燃烧 IVOCs 的排放量,其上下误差线为 OC/POA 以及 IVOCs/POA 的最小比例与最大比例所得到的范围. 利用 IVOCs/POA 平均值计算得到 2010 ~ 2018 年长三角地区 IVOCs 的排放总量约为 73.4 万 t, 2013 年 IVOCs 排放量最多,为 14.3 万 t, 2018 年最少,为 3.2 万 t. 从图 4 中的误差线可以看出,由于 POA/OC 以及 IVOCs/POA 比值选取不同,IVOCs 的估算量差异巨大,最小、最大值可差 29 倍. 2013 年长三角 IVOCs 排放量达到峰值后, 2014 年明显降低,并在 2015 ~ 2018 年保持一个相对较低的排放量水平.

从月变化来看(图 5),长三角地区 IVOCs 的排放与火点数主要集中在 5 ~ 8 月,高峰值在 6 月,其次在 10 月有一个小高峰,主要是由于夏粮、秋粮(小麦、水稻、玉米等)收获后大量焚烧秸秆引起的.

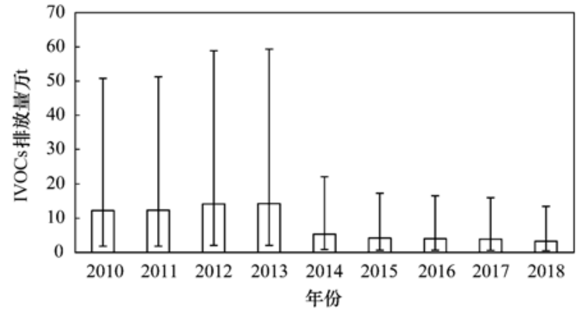


图4 2010 ~ 2018 年长三角地区逐年 IVOCs 排放量

Fig. 4 Annual variation of IVOCs emissions in the Yangtze River Delta from 2010 to 2018

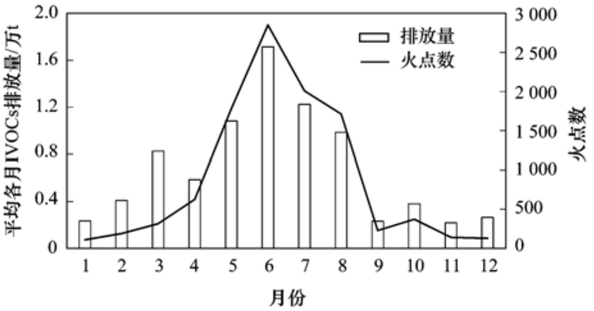


图5 2010 ~ 2018 年长三角地区平均每月 IVOCs 排放量和对应的火点数

Fig. 5 Average monthly variation of IVOCs emissions and fire spots in the Yangtze River Delta from 2010 to 2018

图6 和图 7 为 2010 ~ 2018 年长三角三省一市发生的火点数,以及对应的 IVOCs 排放量. 安徽省和浙江省火点数较多,江苏省次之,上海市最低. 2010 ~ 2018 年期间,浙江省由于生物质燃烧产生的 IVOCs 排放量最多,达 31.1 万 t,安徽省次之,为 26.2 万 t,江苏省为 14.7 万 t,上海市最低,为 1.5 万 t. 单位面积的排放量分别为 2.95、2.48、1.37 和

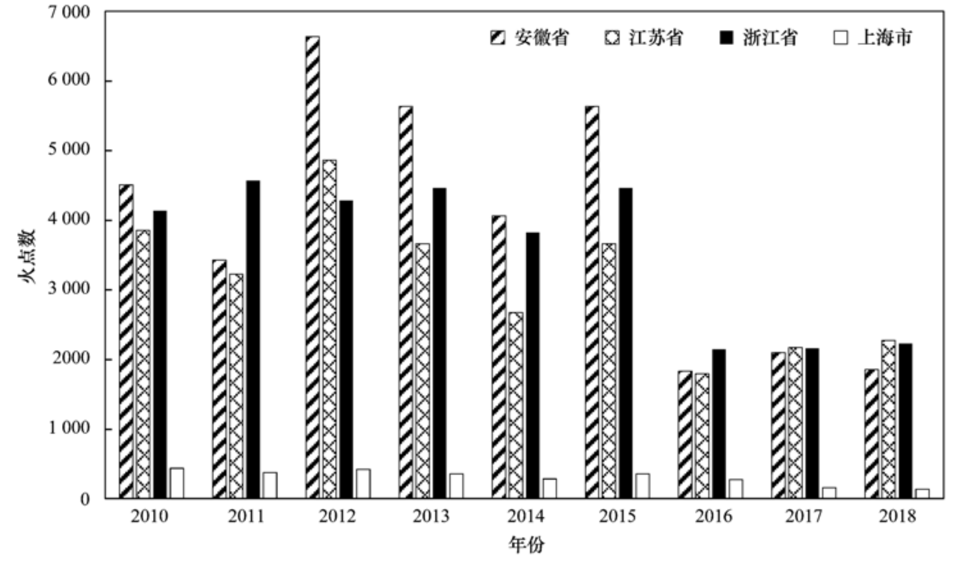


图6 2010 ~ 2018 年长三角地区三省一市火点数

Fig. 6 Each provincial or municipality variation of fire spots in the Yangtze River Delta from 2010 to 2018

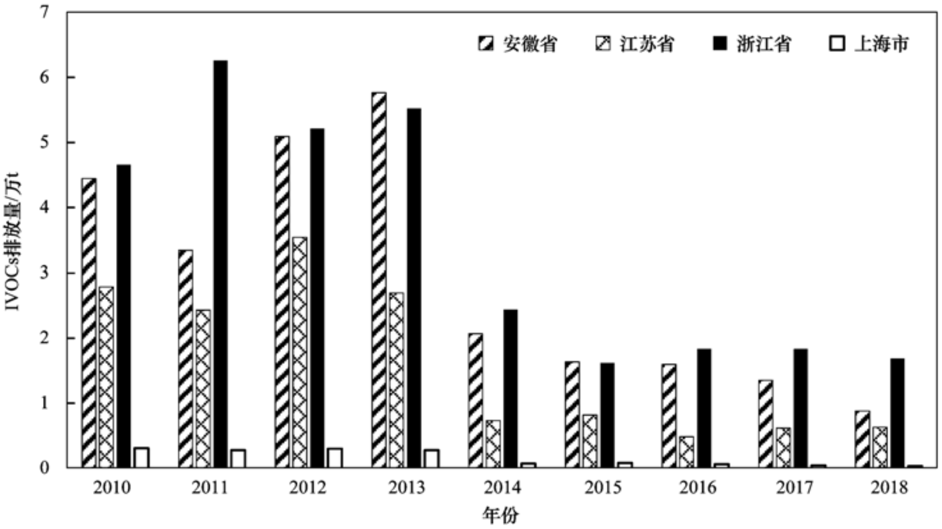


图 7　2010～2018 年长三角地区三省一市 IVOCs 排放量

Fig. 7　Each provincial or municipality variation of IVOCs emissions in the Yangtze River Delta from 2010 to 2018

0.42 t·km^{-2}.

2.3　不同植被类型 IVOCs 排放分析

FINN 排放清单涉及 6 种植被类型的燃烧，分别是草原、灌木、热带森林、温带森林、温带常绿林和农作物. 图 8～9 为 2010～2018 年长三角地区不同植被的火点数及对应的排放量. 在 2010～2018 年之间，农作物的火点数一直最高（占总火点数的 67.7%），IVOCs 排放量占总 IVOCs 的 39.1%，虽然在 2013 年之后，由于禁烧秸秆政策的出台，农作物火点数减少，但依旧在 6 种植被中占比最大，达到 66.4%～71.4%. 另外，草原也有着较多的火点数，但由于其排放因子小，所以产生的 IVOCs 排放量低，只占排放总量的 6.2%. 灌木在 2010 至 2013 年有着较高的火点数（2 257个）与 IVOCs 排放量（3.68 万 t），但在 2014 年之后，火点数与 IVOCs 排放明显降低，且一直保持较低的趋势，火点数只占 5.5%～6.3%，IVOCs 排放量占总排放量的 6.6%～8.8%.

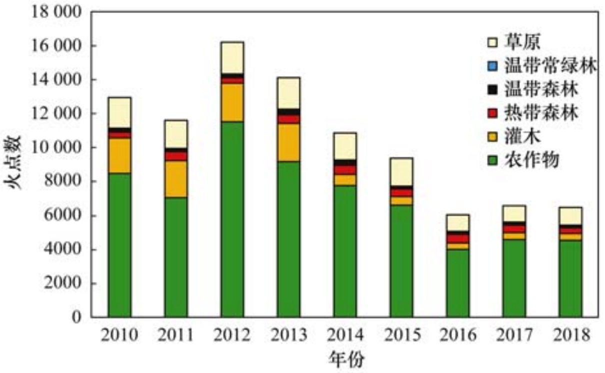


图 8　2010～2018 年长三角地区不同植被类型火点数变化

Fig. 8　Different vegetation types of fire spots in the Yangtze River Delta from 2010 to 2018

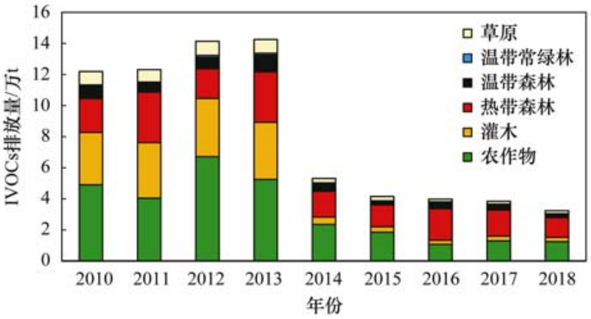


图 9　2010～2018 年长三角地区不同植被类型 IVOCs 排放量

Fig. 9　Different vegetation types of IVOCs emissions in the Yangtze River Delta from 2010 to 2018

2.4　不确定性分析

本研究中基于 FINN 野火排放清单中的有机碳（OC）及 POA/OC、IVOCs/POA 比例计算得到 2010～2018 年长三角地区生物质燃烧的 IVOCs 排放量. 这种方法相对简单、直接，但由于 FINN 清单本身具有一定的不确定性，且采用的 POA/OC 以及 IVOCs/POA 的比值取值范围较大，IVOCs 排放量具有较大的不确定性. 因此，本研究利用蒙特卡罗模拟进行相应的不确定性分析，POA/OC 的比值取对数正态分布，POA/IVOCs 的比值取伽马分布[26]，FINN 排放估计的不确定性约为 2 倍[33]，最终基于 POA/OC 以及 IVOCs/POA 比例法获得的 IVOCs 排放量的不确定范围为 －99%～68%. 目前，针对 IVOCs 排放量尤其是生物质燃烧的 IVOCs 排放量的研究十分缺乏. Wu 等[26]编制了珠江三角洲地区 IVOCs 排放清单，基于 IVOCs/POA 比例系数法得出 2010 年珠江三角洲的生物质燃烧 IVOCs 排放量为 1.44 万 t，占所有源 IVOCs 排放总量的 4.5%，不确定性范围为 －100%～336%.

3　结论

（1）基于 FINN 清单并利用 IVOCs/POA 比例法

首次对长三角地区的生物质燃烧 IVOCs 排放总量进行了估算.

(2)研究区域火点数最多的月份是 5 ~ 8 月,其次在 10 月有个小高峰. 火点数最多的省份是浙江省和安徽省,燃烧最多的植被类型是农作物.

(3)在 2010 ~ 2018 年期间,平均每年火点数约为 10^4,由于秸秆禁燃政策的出台,长三角地区火点数呈下降趋势.

(4)2010 ~ 2018 年期间,生物质燃烧 IVOCs 排放总量平均值为 73.4 万 t,不确定范围是 −99% ~ 68%,该数据为后续进一步模拟生物质燃烧对长三角地区二次有机气溶胶的生成影响提供重要的基础数据.

参考文献:

[1] Pui D Y H, Chen S C, Zuo Z L. PM$_{2.5}$ in China: measurements, sources, visibility and health effects, and mitigation[J]. Particuology, 2014, **13**: 1-26.

[2] Liu Y Z, Jia R, Dai T, *et al*. A review of aerosol optical properties and radiative effects[J]. Journal of Meteorological Research, 2014, **28**(6): 1003-1028.

[3] Apte J S, Marshall J D, Cohen A J, *et al*. Addressing global mortality from ambient PM$_{2.5}$[J]. Environmental Science & Technology, 2015, **49**(13): 8057-8066.

[4] Xing Y F, Xu Y H, Shi M H, *et al*. The impact of PM$_{2.5}$ on the human respiratory system[J]. Journal of Thoracic Disease, 2016, **8**(1): 69-74.

[5] Song C B, He J J, Wu L, *et al*. Health burden attributable to ambient PM$_{2.5}$ in China[J]. Environmental Pollution, 2017, **223**: 575-586.

[6] 郝吉明, 吕子峰, 楚碧武, 等. 大气二次有机气溶胶污染特征及模拟研究[M]. 北京: 科学出版社, 2015.

[7] Cao J J, Lee S C, Ho K F, *et al*. Spatial and seasonal variations of atmospheric organic carbon and elemental carbon in Pearl River Delta Region, China[J]. Atmospheric Environment, 2004, **38**(27): 4447-4456.

[8] 徐昶. 中国特大城市气溶胶的理化特性、来源及其形成机制[D]. 上海: 复旦大学, 2010.

[9] 高杰, 乔利平, 楼晟荣, 等. 上海城区二次气溶胶的形成: 光化学氧化与液相反应对二次气溶胶形成的影响[J]. 环境科学, 2019, **40**(6): 2510-2518.
Gao J, Qiao L P, Lou S R, *et al*. Secondary aerosol formation in urban Shanghai: insights into the roles of photochemical oxidation and aqueous-phase reaction[J]. Environmental Science, 2019, **40**(6): 2510-2518.

[10] Lin J, An J L, Qu Y, *et al*. Local and distant source contributions to secondary organic aerosol in the Beijing urban area in summer[J]. Atmospheric Environment, 2016, **124**: 176-185.

[11] Li J L, Zhang M G, Gao Y, *et al*. Model analysis of secondary organic aerosol over China with a regional air quality modeling system (RAMS-CMAQ)[J]. Atmospheric and Oceanic Science Letters, 2016, **9**(6): 443-450.

[12] Kelly J M, Doherty R M, O'Connor F M, *et al*. The impact of biogenic, anthropogenic, and biomass burning volatile organic compound emissions on regional and seasonal variations in secondary organic aerosol[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2018, **18**(10): 7393-7422.

[13] Robinson A L, Donahue N M, Shrivastava M K, *et al*. Rethinking organic aerosols: semivolatile emissions and photochemical aging[J]. Science, 2007, **315**(5816): 1259-1262.

[14] Zhao Y L, Hennigan C J, May A A, *et al*. Intermediate-volatility organic compounds: a large source of secondary organic aerosol[J]. Environmental Science & Technology, 2014, **48**(23): 13743-13750.

[15] Jathar S H, Woody M, Pye H O T, *et al*. Chemical transport model simulations of organic aerosol in southern California: model evaluation and gasoline and diesel source contributions[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2017, **17**(6): 4305-4318.

[16] Hodzic A, Jimenez J L, Madronich S, *et al*. Modeling organic aerosols in a megacity: potential contribution of semi-volatile and intermediate volatility primary organic compounds to secondary organic aerosol formation[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2010, **10**(12): 5491-5514.

[17] Hayes P L, Carlton A G, Baker K R, *et al*. Modeling the formation and aging of secondary organic aerosols in Los Angeles during CalNex 2010[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2015, **15**(10): 5773-5801.

[18] Couvidat F, Kim Y, Sartelet K, *et al*. Modeling secondary organic aerosol in an urban area: application to Paris, France[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2013, **13**(2): 983-996.

[19] Woody M C, Baker K R, Hayes P L, *et al*. Understanding sources of organic aerosol during CalNex-2010 using the CMAQ-VBS[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2016, **16**(6): 4081-4100.

[20] Hatch L E, Rivas-Ubach A, Jen C N, *et al*. Measurements of I/SVOCs in biomass-burning smoke using solid-phase extraction disks and two-dimensional gas chromatography[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2018, **18**(24): 17801-17817.

[21] Posner L N, Theodoritsi G, Robinson A, *et al*. Simulation of fresh and chemically-aged biomass burning organic aerosol[J]. Atmospheric Environment, 2019, **196**: 27-37.

[22] Zhao Y L, Nguyen N T, Presto A A, *et al*. Intermediate volatility organic compound emissions from on-road gasoline vehicles and small off-road gasoline engines[J]. Environmental Science & Technology, 2016, **50**(8): 4554-4563.

[23] Cross E S, Sappok A G, Wong V W, *et al*. Load-dependent emission factors and chemical characteristics of IVOCs from a medium-duty diesel engine[J]. Environmental Science & Technology, 2015, **49**(22): 13483-13491.

[24] Wu W J, Zhao B, Wang S X, *et al*. Ozone and secondary organic aerosol formation potential from anthropogenic volatile organic compounds emissions in China[J]. Journal of Environmental Sciences, 2017, **53**: 224-237.

[25] Huang C, Hu Q Y, Li Y J, *et al*. Intermediate volatility organic compound emissions from a large cargo vessel operated under real-world conditions[J]. Environmental Science & Technology, 2018, **52**(21): 12934-12942.

[26] Wu L Q, Wang X M, Lu S H, *et al*. Emission inventory of semi-volatile and intermediate-volatility organic compounds and their effects on secondary organic aerosol over the Pearl River Delta region[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2019, **19**(12): 8141-8161.

[27] 唐喜斌, 黄成, 楼晟荣, 等. 长三角地区秸秆燃烧排放因子与颗粒物成分谱研究[J]. 环境科学, 2014, **35**(5): 1623-1632.

Tang X B, Huang C, Lou S R, *et al.* Emission factors and PM chemical composition study of biomass burning in the Yangtze River Delta Region[J]. Environmental Science, 2014, **35**(5): 1623-1632.

[28] Stockwell C E, Veres P R, Williams J, *et al.* Characterization of biomass burning emissions from cooking fires, peat, crop residue, and other fuels with high-resolution proton-transfer-reaction time-of-flight mass spectrometry [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2015, **15**(2): 845-865.

[29] Chen J M, Li C L, Ristovski Z, *et al.* A review of biomass burning: emissions and impacts on air quality, health and climate in China[J]. Science of the Total Environment, 2017, **579**: 1000-1034.

[30] Chan A W H, Kautzman K E, Chhabra P S, *et al.* Secondary organic aerosol formation from photooxidation of naphthalene and alkylnaphthalenes: implications for oxidation of intermediate volatility organic compounds (IVOCs) [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2009, **9**(9): 3049-3060.

[31] Pye H O T, Seinfeld J H. A global perspective on aerosol from low-volatility organic compounds[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2010, **10**(9): 4377-4401.

[32] 王倩, 黄凌, 王杨君, 等. 长江三角洲 2017 年机动车 IVOCs 排放清单构建及其对 SOA 的生成影响[J]. 环境科学, 2020, **41**(1): 125-132.

Wang Q, Huang L, Wang Y J, *et al.* Emission inventory of intermediate volatility organic compounds from vehicles in the Yangtze River Delta in 2017 and the impact on the formation potential of secondary organic aerosols [J]. Environmental Science, 2020, **41**(1): 125-132.

[33] Wiedinmyer C, Akagi S K, Yokelson R J, *et al.* The fire inventory from NCAR (FINN): a high resolution global model to estimate the emissions from open burning [J]. Geoscientific Model Development, 2011, **4**(3): 625-641.

[34] Wiedinmyer C, Quayle B, Geron C, *et al.* Estimating emissions from fires in North America for air quality modeling [J]. Atmospheric Environment, 2006, **40**(19): 3419-3432.

[35] Jiang X Y, Wiedinmyer C, Carlton A G. Aerosols from fires: an examination of the effects on ozone photochemistry in the Western United States[J]. Environmental Science & Technology, 2012, **46**(21): 11878-11886.

[36] Val Martin M, Heald C L, Ford B, *et al.* A decadal satellite analysis of the origins and impacts of smoke in Colorado[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2013, **13**(15): 7429-7439.

[37] 朱佳雷, 王体健, 邓君俊, 等. 长三角地区秸秆焚烧污染物排放清单及其在重霾污染天气模拟中的应用[J]. 环境科学学报, 2012, **32**(12): 3045-3055.

Zhu J L, Wang T J, Deng J J, *et al.* An emission inventory of air pollutants from crop residue burning in Yangtze River Delta Region and its application in simulation of a heavy haze weather process[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2012, **32**(12): 3045-3055.

[38] 王振彬, 刘安康, 卢文, 等. 霾不同发展阶段下污染气体和水溶性离子变化特征分析[J]. 环境科学, 2019, **40**(12): 5213-5223.

Wang Z B, Liu A K, Lu W, *et al.* Change in characteristics of pollution gas and water-soluble ions at different development stages of haze [J]. Environmental Science, 2019, **40**(12): 5213-5223.

[39] Cheng Z, Wang S, Fu X, *et al.* Impact of biomass burning on haze pollution in the Yangtze River delta, China: a case study in summer 2011[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2014, **14**(9): 4573-4585.

[40] Fu X, Wang S X, Zhao B, *et al.* Emission inventory of primary pollutants and chemical speciation in 2010 for the Yangtze River Delta region, China[J]. Atmospheric Environment, 2013, **70**: 39-50.

[41] 柯华兵. 实时生物质燃烧排放模型的构建及其应用[D]. 北京: 中国气象科学研究院, 2019.

[42] Shrivastava M K, Lane T E, Donahue N M, *et al.* Effects of gas particle partitioning and aging of primary emissions on urban and regional organic aerosol concentrations [J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2008, **113**(18): D18301.

[43] Zhao B, Wang S, Donahue N M, *et al.* Quantifying the effect of organic aerosol aging and intermediate-volatility emissions on regional-scale aerosol pollution in China[J]. Scientific Reports, 2016, **6**(1): 28815.

[44] Giani P, Balzarini A, Pirovano G, *et al.* Influence of semi-and intermediate-volatile organic compounds (S/IVOC) parameterizations, volatility distributions and aging schemes on organic aerosol modelling in winter conditions[J]. Atmospheric Environment, 2019, **213**: 11-24.

[45] Shrivastava M, Fast J, Easter R, *et al.* Modeling organic aerosols in a megacity: comparison of simple and complex representations of the volatility basis set approach[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2011, **11**(13): 6639-6662.

[46] 唐荣志, 王辉, 刘莹, 等. 大气半/中等挥发性有机物的组成及其对有机气溶胶贡献[J]. 化学进展, 2019, **31**(1): 180-190.

Tang R Z, Wang H, Liu Y, *et al.* Constituents of atmospheric semi-volatile and intermediate volatility organic compounds and their contribution to organic aerosol[J]. Progress in Chemistry, 2019, **31**(1): 180-190.

[47] Tian D, Hu Y T, Wang Y H, *et al.* Assessment of biomass burning emissions and their impacts on urban and regional $PM_{2.5}$: a Georgia case study [J]. Environmental Science & Technology, 2009, **43**(2): 299-305.

[48] Shrivastava M, Easter R C, Liu X H, *et al.* Global transformation and fate of SOA: implications of low-volatility SOA and gas-phase fragmentation reactions[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2015, **120**(9): 4169-4195.

[49] Ciarelli G, El Haddad I, Bruns E, *et al.* Constraining a hybrid volatility basis-set model for aging of wood-burning emissions using smog chamber experiments: a box-model study based on the VBS scheme of the CAMx model (v5.40) [J]. Geoscientific Model Development, 2017, **10**(6): 2303-2320.

[50] 国务院. 国务院关于印发大气污染防治行动计划的通知(国发〔2013〕37 号)[EB/OL]. http://www.jingbian.gov.cn/gk/zfwj/gwywj/41211.htm? from = singlemessage&isappinstalled = 0.

HUANJING KEXUE Vol. 41 No. 8
Environmental Science (monthly) Aug. 15, 2020

CONTENTS

Comparison Analysis of the Effect of Emission Reduction Measures for Major Events and Heavy Air Pollution in the Capital …… ZHONG Yi-sheng, ZHOU Ying, CHENG Shui-yuan, *et al.* (3449)
Evaluation of Different ISORROPIA-Ⅱ Modes and the Influencing Factors of Aerosol pH Based on Tianjin Online Data …… GAO Jie, SHI Xu-rong, WEI Yu-ting, *et al.* (3458)
Emission Characteristics of Particulate Organic Matter from Cooking …… LI Yuan-ju, WU Ai-hua, TONG Meng-xue, *et al.* (3467)
Characteristics and Sources of 12 Trace Amount Elements in PM$_{2.5}$ During a Period of Heavy Pollution in Huanggang, Central China …… CHEN Zhan-le, TIAN Qian, MAO Yao, *et al.* (3475)
Aerosol Optical Properties over the Ebinur Region …… ZHANG Zhe, DING Jian-li, WANG Jin-jie (3484)
Characteristics of Secondary Organic Particles and the Potential Formation of SOA from VOCs During Wintertime Heavy Pollution Episodes in Tianjin …… XU Hong, TANG Miao, XIAO Zhi-mei, *et al.* (3492)
Characteristics and Source Apportionment of VOCs at Different Pollution Levels During the Winter in an Urban Area in Zhengzhou …… LI Yi-dan, YIN Sha-sha, ZHANG Rui-qin, *et al.* (3500)
Emission Inventory of Intermediate Volatility Organic Compounds (IVOCs) from Biomass Burning in the Yangtze River Delta During 2010-2018 …… ZHU Yong-hui, WANG Qian, HUANG Ling, *et al.* (3511)
Emission Characteristics of Biogenic Volatile Compounds (BVOCs) from Common Greening Tree Species in Northern China and Their Correlations with Photosynthetic Parameters …… XU Yan, LI Shuang-jiang, YUAN Xiang-yang, *et al.* (3518)
Characteristics of Surface Ozone and Impact Factors at Different Station Types During the Autumn in Guangzhou …… GAO Ping, ZHUANG Li-yue, WANG Long, *et al.* (3527)
Pollution Characteristics and Sensitivity Analysis of Atmospheric Ozone in Taian City …… LI Kai, LIU Min, MEI Ru-bo (3539)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Heavy Metals in Road Dust from Non-ferrous Smelting Parks …… FENG Yu-yao, SHI Jian-wu, ZHONG Yao-qian, *et al.* (3547)
Pollution and Source Analysis of Heavy Metal in Surface Dust from Xi'an University Campuses …… FAN Xin-yao, LU Xin-wei, LIU Hui-min, *et al.* (3556)
Monitoring Method of Total Particulate Matter in Ultra-low-emission and High-humidity Exhaust Gas from Stationary Sources and an Actual Test in a Gas Power Plant …… HU Yue-qi, YAN Xu, KONG Chuan, *et al.* (3563)
Vessels' Air Pollutant Emissions Inventory and Emission Characteristics in the Xiamen Emission Control Area …… WANG Jian, HUANG Zhi, LIU Yan-ying, *et al.* (3572)
Method for High-resolution Emission Inventory for Road Vehicles in Chengdu Based on Traffic Flow Monitoring Data …… PAN Yu-jin, LI Yuan, CHEN Jun-hui, *et al.* (3581)
Inversion of Water Quality Parameters Based on UAV Multispectral Images and the OPT-MPP Algorithm …… HUANG Xin-xi, YING Han-ting, XIA Kai, *et al.* (3591)
Effects of Different Water Stratification on the Vertical Distribution of Nitrogen in Sediment Interstitial Waters: A Case Study of the Three Gorges Reservoir and Xiaowan Reservoir …… LIU Jing-si, ZHU Xiao-sheng, HU Zi-long, *et al.* (3601)
Pollution Status and Pollution Behavior of Microplastic in Surface Water and Sediment of Urban Rivers …… ZHAO Xin, CHEN Hao, JIA Qi-long, *et al.* (3612)
Spatial and Temporal Variation of Phytoplankton Community Structure and Its Influencing Factors in Shanghai River Channels …… XU Zhi, CHEN Xiao-hua, SHEN Gen-xiang, *et al.* (3621)
Restoration of River Sediment by Calcium Peroxide (CaO$_2$) Combined with Biochar …… LI Yu-ping, JIANG Ying-ying, LIU Bao-ming, *et al.* (3629)
Quantification of Nitrate Sources to Groundwater in Karst Trough-valley Areas Based on Dual Stable Isotopes of δ^{15}N-NO$_3^-$ and δ^{18}O-NO$_3^-$ and the IsoSource Model …… XU Lu, JIANG Yong-jun, DUAN Shi-hui, *et al.* (3637)
Dynamic Process of Nitrogen and Phosphorus Export and Loss Load in an Intensive Orchard with Ridge and Furrow Plantation in the Three Gorges Reservoir Area …… YAN Kun, WANG Yu-kuan, LIU Qin, *et al.* (3646)
Analysis of Rainfall Runoff Pollution and Pollution Load Estimation for Urban Communities in a Highly Urbanized Region …… GAO Bin, XU You-peng, LU Miao, *et al.* (3657)
Adsorption of As(Ⅲ) in Water by Iron-loaded Graphene Oxide-Chitosan …… ZHAO Chao-ran, SHAN Hui-mei, ZENG Chun-ya, *et al.* (3665)
Sorption Behaviors of Copper Ions and Tetracycline on Microplastics in Aqueous Solution …… XUE Xiang-dong, WANG Xing-yuan, MEI Yu-chen, *et al.* (3675)
Effect of Porous Fillers Properties on Biofilm Growth …… JIANG Yu-qin, LI Jiong-hui, FANG Zhi-guo (3684)
Adaptability of Nitrifying Biofilm Systems to Low Temperature: MBBR and IFAS …… LI Ren, YU Li-fang, ZHANG Xing-xiu, *et al.* (3691)
Improved on Nitrogen Removal of Anaerobic Ammonia Oxidation by Coupling Element Sulfur-based Autotrophic Short-cut Denitrification …… FANG Wen-ye, LI Xiang, HUANG Yong, *et al.* (3699)
Nitrogen and Phosphorus Removal from Domestic Sewage Aerobic Granular Sludge Under Intermittent Gradient Aeration …… ZHANG Yu-jun, LI Dong, LI Shuai, *et al.* (3707)
Rapid Start-up and Stability of Partial Denitrification Based on Different Waste Sludge Sources …… ZHANG Xing-xing, WANG Chao-chao, WANG Yao, *et al.* (3715)
Decision-making Analysis of Excess Sludge Pretreatment for Struvite Recovery Based on AHP-PROMETHEE Ⅱ Method …… LIU Xiao-lei, LI An-jie (3725)
Effect on Ammonia Inhibition Mitigation in the Anaerobic Digestion Process with Zero-Valent Iron …… LIU Ji-bao, NIU Yu-tong, YU Da-wei, *et al.* (3731)
Performance of Anaerobic Membrane Bioreactors for the Co-digestion of Sewage Sludge and Food Waste …… DAI Jin-jin, NIU Cheng-xin, PAN Yang, *et al.* (3740)
Antibiotics Induce Horizontal Gene Transfer of Resistance at Sublethal Concentrations …… YUAN Qi-yi, CHEN Hong-jie, Laurence Haller, *et al.* (3748)
Impact of Tetracycline Antibiotic on the Transcriptional Expression of Tetracycline Resistance Genes in *Shigella flexneri* …… GAO Pin, RUAN Xiao-hui, QIU Wen-jie, *et al.* (3758)
Competitive Selection of Hydroxylamine on Ammonia Oxidizing Bacteria and Nitrite Oxidizing Bacteria …… QIAO Xin, WANG Bo, GUO Yuan-yuan, *et al.* (3765)
Analysis of the Effect of Temperature on the Microbial Flora Structure During the Nitrite Oxidation Process Using 16S rRNA High-throughput Sequencing …… HOU Xiao-wei, NIU Yong-jian, LI Wei-wei, *et al.* (3773)
Universality and Potential Application of Mn(Ⅱ) Oxidation Triggered by Microbial Interspecies Interactions …… NING Xue, LIANG Jin-song, BAI Yao-hui, *et al.* (3781)
Distribution and Potential Nitrification Rates of Aerobic Ammonia-Oxidizing Microorganisms in Surface Sediments of Mangrove in Sanya River …… LUO Qing, ZHEN Yu, PENG Zong-bo, *et al.* (3787)
Effects of Ozone Pollution on Growth, Yields, and Mineral Metallic Element Contents of Paddy Rice …… FANG Xiao-kun, LUO Xiao-san, ZHANG Dan, *et al.* (3797)
Short Term Effects of a Changing Carbon Input on the Soil Respiration of *Picea schrenkiana* Forests in the Tianshan Mountains, Xinjiang …… SHAO Kang, GONG Lu, HE Xue-min, *et al.* (3804)
Effects of the Combined Application of Organic and Inorganic fertilizers on N$_2$O Emissions from Saline Soil …… ZHOU Hui, SHI Hai-bin, GUO Jia-wei, *et al.* (3811)
Mechanism and Influencing Factors of Increasing Soil Temperature by *in-situ* Electrical Resistance Heating …… GE Song, MENG Xian-rong, XU Wei, *et al.* (3822)
Acid Mine Wasteland Reclamation by *Juncus ochraceus* Buchen as a Potential Pioneer Plant …… HUANG Jian-hong, FU Jiang-li, YAN Xin-rui, *et al.* (3829)
Effects of Drip Irrigation Patterns and Biochar Addition on Soil Mineral Nitrogen and Microbial Regulation of Greenhouse …… CAI Jiu-mao, LIU Jie-yun, QIU Hu-sen, *et al.* (3836)
Effects of Cotton Stalk Biochar on the Structure and Function of Fungi Community in Alkaline Rhizosphere Soil of Rice Under Cadmium Pollution …… LIU Shi-dou, HAN Yao-guang, ZHU Xin-ping, *et al.* (3846)
Effects of Different Treatments with Water Management Combined with Leaf Spraying Silicon Fertilizer on Cd Accumulation in Rice …… WEI Bin-yun, ZHOU Hang, LIU Jia-wei, *et al.* (3855)
Effects of Chelate GLDA on the Remediation of Cadmium Contaminated Farmland by *Pennisetum purpureum* Schum …… QIN Jian-jun, TANG Sheng-shuang, JIANG Kai, *et al.* (3862)
Situation Analysis and Trend Prediction of the Prevention and Control Technologies for Planting Non-Point Source Pollution …… YU Ying-liang, YANG Lin-zhang, LI Hong-na, *et al.* (3870)