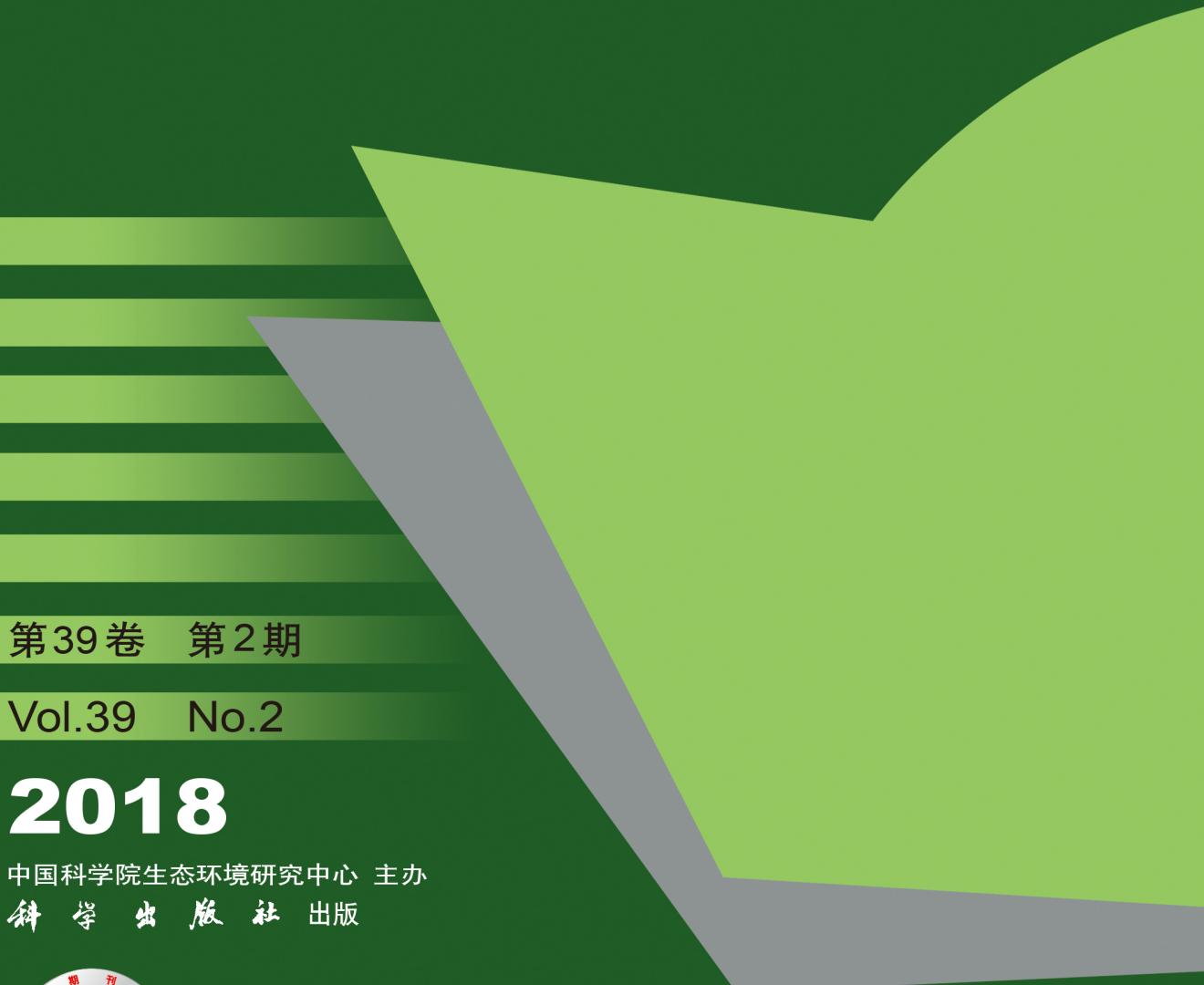


环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE



第39卷 第2期

Vol.39 No.2

2018

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目 次

特别策划:挥发性有机污染物(VOCs)排放特征、减排控制、环境政策研究专辑(Ⅲ)	
序	郝郑平(477)
我国机动车排放 VOCs 及其大气环境影响	陈天增, 葛艳丽, 刘永春, 贺泓(478)
基于 PMF 量化工业排放对大气挥发性有机物(VOCs)的影响:以南京市江北工业区为例	胡崑, 王鸣, 郑军, 王红丽, 卢兴东, 景盛翩, 陈超(493)
南京工业区挥发性有机物来源解析及其对臭氧贡献评估	张玉欣, 安俊琳, 王俊秀, 师远哲, 刘静达, 梁静舒(502)
某工业园区 VOCs 臭氧生成潜势及优控物种	武蕾丹, 王秀艳, 杨文, 郭凤艳, 刘锦(511)
某石油化工园区秋季 VOCs 污染特征及来源解析	胡天鹏, 李刚, 毛瑶, 郑煌, 秦世斌, 闵洋, 张家泉, 邢新丽, 邵士华(517)
某典型石油化工园区冬季大气中 VOCs 污染特征	毛瑶, 李刚, 胡天鹏, 郑煌, 安艺伟, 闵洋, 邢新丽, 邵士华(525)
杭州市工业源 VOCs 排放清单及排放特征	卢滨, 黄成, 卢清, 杨强, 井宝莉, 夏阳, 唐伟, 顾泽平(533)
秦皇岛市工业行业挥发性有机物排放特征	虎啸宇, 刘航, 王乃玉, 王灿, 滕华岳(543)
浙江省汽摩配行业挥发性有机物排放特征及排放系数	杨忠平, 王浙明, 何志桥, 徐志荣, 滕富华, 张华岳(551)
汽车制造企业恶臭来源及影响分析	石田立, 张伟霞, 陈小方, 张嘉妮, 梁小明, 范丽雅, 叶代启(557)
典型酿造业厂界无组织排放 VOCs 污染特征与风险评价	高占啟, 胡冠九, 王荟, 朱冰清, 陈素兰(567)
成都市大气环境 VOCs 污染特征及其健康风险评价	李友平, 唐娅, 范忠雨, 蒲敏, 章金莲, 杨铮铮, 吴大磊(576)
上海地区住宅儿童卧室内甲醛和苯系物浓度的现场检测分析	蒋巧云, 刘平平, 王雪颖, 路荣春, 刘炜, 周华元, 龚莹莹, 周亚欣, 黄晨(585)
江苏省人为源 VOCs 排放清单及其对臭氧生成贡献	夏思佳, 刘倩, 赵秋月(592)
江门市人为源挥发性有机物排放清单	陈小方, 张伟霞, 陈柄旭, 张嘉妮, 范丽雅, 叶代启(600)
长江三角洲 2014 年天然源 BVOCs 排放、组成及时空分布	刘岩, 李莉, 安静宇, 张伟, 严茹莎, 黄凌, 黄成, 王红丽, 王卿, 王敏(608)
北京城市副中心(通州区)加油站 VOCs 排放清单	黄玉虎, 胡玮, 李贝贝, 纪旋, 肖宇, 任碧琪, 秦建平(618)
公交车使用废食用油制生物柴油的污染物排放及 VOCs 成分谱	胡志远, 林骠骑, 黄成, 王红丽, 景盛翩, 楼狄明(626)
生物滴滤塔净化甲基叔丁基醚废气的研究	褚其英, 姚露露, 吕雄标, 叶杰旭, 叶虹霓, 潘梁柱, 陈建孟, 陈东之(633)
低温等离子体-生物耦合系统对复合 CVOCs 的降解	郭海倩, 缪晶晶, 姜理英, 张迪(640)
水质异味期间钱塘江杭州段表层水体中挥发性和半挥发性有机物污染特征及健康风险评价	陈峰, 唐访良, 徐建芬, 王奕奕, 阮东德, 张伟, 周姗(648)
城市自来水管网中挥发性有机物的空间分布特征	许美佳, 王海亮, 李春梅, 徐雄, 王东红(655)
不同通勤模式暴露于 VOCs 的健康风险评价	佟瑞鹏, 张磊(663)
家具制造过程中 VOCs 的来源分析及环境健康风险评价	佟瑞鹏, 张磊, 杨校毅, 朱旭波, 任传耕(672)
研究报告	
北京市 PM _{2.5} 时空分布特征及其与 PM ₁₀ 关系的时空变异特征	杨文涛, 姚诗琪, 邓敏, 王艳军(684)
小型池塘水-气界面 CH ₄ 冒泡通量的观测	张秀芳, 肖薇, 张弥, 王伟, 赵佳玉, 胡勇博, 谢成玉, 张圳, 谢燕红, 黄文晶(691)
中国七大流域全氟烷基酸污染水平与饮水暴露风险	王鑫璇, 张鸿, 王艳萍, 罗骥(703)
铁岭市河流氮素时空分布及源解析	杨丽标, 雷坤, 乔飞, 孟伟(711)
基于三维荧光及平行因子分析的川西高原河流水体 CDOM 特征	刘堰杨, 秦纪洪, 刘琛, 孙辉, 唐翔宇, 范诗雨(720)
宁波市地表水重金属污染现状和健康风险评价	徐美娟, 鲍波, 陈春燕, 王永川, 高夫燕, 虞效益(729)
巢湖水体可溶态重金属时空分布及污染评价	吴蕾, 刘桂建, 周春财, 刘荣琼(738)
广西龙江沉积物重金属污染现状及生物有效性	蓝小龙, 宁增平, 肖青相, 黄正玉, 刘意章, 肖唐付, 赵彦龙, 吴世良(748)
内电解人工湿地冬季低温尾水强化脱氮机制	郑晓英, 朱星, 王菊, 周翔, 徐亚东, 韦诚, 高雅洁, 周枷(758)
河道型水库支流库湾营养盐动态补给过程	徐雅倩, 徐飘, 杨正健, 刘德富, 马骏(765)
降雨对蓝藻水华消退影响及其机制分析	刘心愿, 宋林旭, 纪道斌, 刘德富, 崔玉洁, 黄佳维, 赵冲, 唐咏春, 平明明(774)
城市河流沉水植物与大型底栖动物群落的关系	渠晓东, 余杨, 张敏, 段龙飞, 彭文启(783)
三峡库区兰陵溪小流域径流氮磷输出及其降雨径流过程特征	张林, 黄志霖, 肖文发, 曾立雄, 宋文梅(792)
基于污染评价的地下水中优控污染物筛选	赵鹏, 何江涛, 王曼丽, 黄德亮, 王磊, 梁雨(800)
硫和石英砂比对自养填充床反应器去除高浓度高氯酸盐的影响	陶华强, 邵冬海, 张超, 宋圆圆, 逯彩彩, 郭建博(811)
活性炭/高分子复合水凝胶对水中亚甲基蓝和 Cu(Ⅱ)的去除性能	孔岩, 庄媛, 石宝友, 韩志勇, 郝昊天, 韩昆, 于建伟(819)
三维网状 HZO@SGH 对水中氟离子的吸附作用和机制	马福臻, 周少奇, 刘泽珺, 支亮亮, 周璇(828)
MgO/活性炭催化臭氧化降解有机物的作用机制	许珊珊, 林存旺, 丁亚磊, 童少平(838)
污水厂二级出水中难凝聚有机物的臭氧化特性	侯瑞, 金鑫, 金鹏康, 荀邦耀, 王晓昌(844)
染料探针技术对二级出水中优势污染物的定量检测	孟晓荣, 王璁桧, 王旭东, 乔茹凯, 任婷婷, 唐卫婷(852)
污水处理厂厌氧氨氧化工艺小试	李冬, 赵世勋, 王俊安, 朱金凤, 关宏伟, 张杰(859)
间歇曝气模式下曝气量对短程硝化恢复的影响	刘宏, 南彦斌, 李慧, 王翔, 彭永臻, 陈永志(865)
好氧/除磷颗粒对亚硝化颗粒污泥启动的影响	李冬, 郭跃洲, 曹美忠, 张泽文, 李帅, 张杰(872)
处理垃圾渗滤液的 SBR 中微生物种群与污泥比阻	蔡丽云, 黄泽彬, 须子唯, 江志斌, 林莉莉, 黄宇(880)
基于城镇化进程表层土壤多环芳烃来源解析及风险评价	姚宏, 张士超, 刘明丽, 王静, 鲁垠涛, 于晓华(889)
西江流域土壤砷含量空间变异与污染评价	刘畅, 宋波, 张云霞, 雷梅, 田美玲, 余元元, 庞瑞(899)
开封城市土壤磷素组成特征及流失风险	白秀玲, 马建华, 孙艳丽, 刘德新(909)
电子垃圾拆解区土壤-水稻系统重金属分布特征及健康风险评价	尹伊梦, 赵委托, 黄庭, 程胜高, 赵珍丽, 余葱葱(916)
上海市稻米中有机氯农药残留水平及健康风险评价	孟媛, 刘翠翠, 仇雁翎, 周轶慧, 朱志良(927)
四环素类抗生素对不同蔬菜生长的影响及其富集转运特征	迟苏琳, 王卫中, 徐卫红, 李桃, 李彦华, 张春来(935)
硅肥耦合水分管理对复合污染稻田土壤 As-Cd 生物有效性及稻米累积阻控	李园星露, 叶长城, 刘玉玲, 李丹阳, 刘寿涛, 罗海艳, 刘孝利, 铁柏清, 孙健(944)
电子垃圾拆解工人的肝功能和肾功能健康状况及影响因素分析:以清远市龙塘镇为例	严晓, 李淑圆, 王美欢, 许榕发, 郑晶, 任明忠(953)
《环境科学》征稿简则(584)	信息(799, 908, 934)
《环境科学》征订启事(683)	

长江三角洲 2014 年天然源 BVOCs 排放、组成及时空分布

刘岩^{1,2,3}, 李莉^{2,3*}, 安静宇^{2,3}, 张伟¹, 严茹莎^{2,3}, 黄凌⁴, 黄成^{2,3}, 王红丽^{2,3}, 王卿^{2,3}, 王敏^{2,3}

(1. 山东师范大学地理与环境学院, 济南 250014; 2. 上海市环境科学研究院, 上海 200233; 3. 国家环境保护城市大气复合污染成因与防治重点实验室, 上海 200233; 4. 英环(上海)咨询有限公司, 上海 200021)

摘要: 基于遥感解译植被, 结合 WRF 气象场模拟, 利用 MEGAN 模型估算了 2014 年长三角地区天然源 VOCs(BVOCs)排放清单, 分析其化学组成及时空分布特征。结果表明, 2014 年长三角江浙沪皖三省一市 BVOCs 排放总量为 188.6 万 t, 其中异戊二烯 70.42 万 t(37.3%), 单萜烯 30.3 万 t(16.1%), 其他 VOCs 为 87.88 万 t(46.6%)。BVOCs 季节变化十分显著, 夏季最高, 冬季最低; 夏季排放占年排放量的 60.9% (108.8 万 t), 冬季仅占 3.2% (5.7 万 t)。受植被覆盖影响, BVOCs 排放在空间分布差异, 南高北低, 浙江、安徽、江苏和上海市的 BVOCs 排放量依次为 84.2 万 t(44.6%)、76 万 t(40.3%)、27.2 万 t(14.4%) 和 1.2 万 t(0.7%), 这主要与植被类型分布有关。

关键词: 天然源 VOCs; MEGAN; 排放清单; 时空分布; 长三角

中图分类号: X511 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2018)02-0608-10 DOI: 10.13227/j.hjx.201703276

Emissions, Chemical Composition, and Spatial and Temporal Allocation of the BVOCs in the Yangtze River Delta Region in 2014

LIU Yan^{1,2,3}, LI Li^{2,3*}, AN Jing-yu^{2,3}, ZHANG Wei¹, YAN Ru-sha^{2,3}, HUANG Ling⁴, HUANG Cheng^{2,3}, WANG Hong-li^{2,3}, WANG Qing^{2,3}, WANG Min^{2,3}

(1. School of Geography and Environment, Shandong Normal University, Jinan 250014, China; 2. Shanghai Academy of Environmental Sciences, Shanghai 200233, China; 3. State Environmental Protection Key Laboratory of the Cause and Prevention of Urban Air Pollution Complex, Shanghai 200233, China; 4. Ramboll Environ, Shanghai 200021, China)

Abstract: Based on the land surface vegetation data interpreted via remote sensing and the meteorological conditions predicted via the WRF model, the MEGAN model was applied to calculate the regional BVOC emissions in the Yangtze River Delta (YRD) in 2014. The chemical components and the temporal and spatial allocations were further analyzed. Results show that the annual BVOC emissions in the YRD were 1 886 kt, in which isoprene emissions were 704.2 kt (accounting for 37.3%), monoterpenes 303 kt (16.1%), and other VOCs 878.8 kt (46.6%). Seasonal variation of the BVOC emissions was very significant. The BVOC emissions had a strong seasonal pattern, with maximum emissions in summer, accounting for 60.9% (1 088 kt) of the total, whereas the minimum emissions occurred in winter, accounting for 3.2% (57 kt). Spatially, the southern YRD produced more BVOC emissions than the northern part did. In Zhejiang, Anhui, Jiangsu, and Shanghai, the BVOC emissions were 842 kt (44.6%), 760 kt (40.3%), 272 kt (14.4%), and 12 kt (0.7%), respectively. This is mainly related to the distribution of vegetation types.

Key words: BVOCs; MEGAN; emission inventory; temporal and spatial allocation; Yangtze River Delta

挥发性有机物(VOCs)具有较高的光化学反应活性, 是臭氧(O_3)和二次有机气溶胶(SOA)生成的前体物^[1~5]。VOCs 分人为源 VOCs(AVOCs)和天然源 VOCs(BVOCs)^[6~8]。从全球角度看, BVOCs 的排放远超过 AVOCs, Guenther 等研究发现^[9], BVOCs 排放量约占全球 VOCs 排放量的 89%; 而在 BVOCs 中, 植物排放的 VOCs 大约占 90% 以上。植物排放的 VOCs 包括异戊二烯、萜类、烷烃类、烯烃类、醇类和酸类^[10], 通常被分为异戊二烯、单萜烯和其他 VOCs 三类^[9]。植物排放以异戊二烯和单萜烯为主^[11,12], 但有研究表明其他 VOCs 中的甲醇、丙酮也是植物排放的重要 VOCs^[13,14]。在城市群地区

BVOCs 排放显著低于 AVOCs, 但 BVOCs 对 O_3 和 SOA 的贡献不容忽视^[7,8]。Farina 等^[15]估算全球由 BVOCs 产生的 SOA 约为人源的 17.3 倍。Jacobson 等^[16]发现异戊二烯对夏季臭氧生成的贡献为 23%。为此, 系统研究 BVOCs 排放特征对深入评估其对 O_3 和 SOA 的影响具有重要的科学意义。

收稿日期: 2017-03-30; 修订日期: 2017-05-16

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2014BAC22B03); 环境保护公益性行业科研专项(201409008); 长三角地区战略环境评价能源消费与大气专题; 中国科学院战略性先导科技专项(XDB05020302); 上海市重大科研项目(沪环科2016-12, 沪环科2017-2)

作者简介: 刘岩(1990~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为天然源排放清单, E-mail:18701842517@163.com

* 通信作者, E-mail:lili@saes.sh.cn

针对 BVOCs 的排放特征及其环境影响, 张钢锋等^[1]采用蓄积量和产量的方法估算了中国分省份 BVOCs 排放量; 杨丹菁等^[17]在测定珠三角地区优势物种 VOCs 排放速率基础上推算排放量; 郑君瑜等^[6]和吴丽萍等^[18]基于遥感图像解译植被信息, 分别计算了珠三角地区和重庆市主城区 BVOCs 排放量; 宋媛媛^[19]基于遥感数据采用 MEGAN 模型研究了中国东部地区 BVOCs 排放量及时空分布特征; 司徒淑婷等^[20]利用 MEGAN 模型对珠三角地区夏季植被异戊二烯的排放进行了研究; Guenther 等^[21]采用 MEGAN 模型对全球 BVOCs 排放进行计算。这些研究对于了解 BVOCs 的排放情况及其环境影响做出了重要贡献。

长三角地区作为我国植被覆盖最为丰富的地区之一, BVOCs 的排放较为丰富。近年来该地区复合型大气污染特征突出^[22,23], BVOCs 的影响不容忽视。本文基于遥感图像解译植被数据, 利用 WRF 模型模拟 2014 年气象场, 基于 MEGAN 模型估算了该地区 BVOCs 排放量并研究了其时空分布特征。

1 材料与方法

1.1 研究区域设置

研究区域为长三角城市群, 覆盖上海、江苏、浙江、安徽。模拟范围为 114°E ~ 123°E, 26°N ~ 35°N, 中央经纬线为 118°E、32°N, 建立了 4 km × 4 km 网格。模拟区域见图 1。

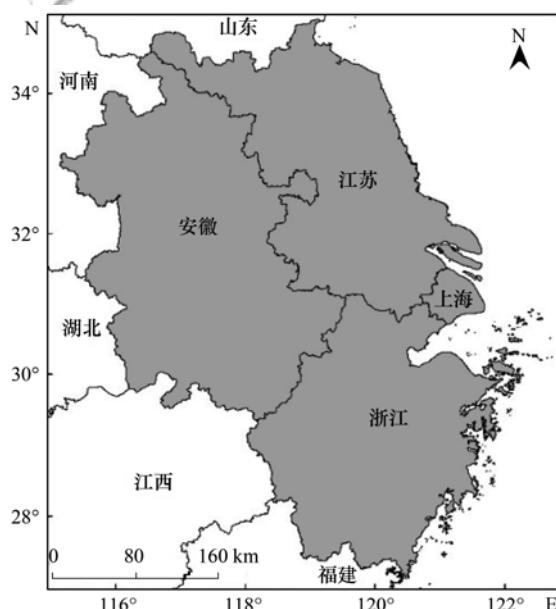


图 1 模拟区域示意

Fig. 1 Model domain

1.2 模型介绍

采用 Guenther 研发的最新版本 MEGAN2.1 模型^[24], 输入数据为叶面积指数 (leaf area index, LAI)、植被功能类型 (plant function type, PFT)、排放因子 (emission factor, EF) 和气象数据^[21,25]。

BVOCs 排放详细计算方法及介绍可见文献 [2, 21, 24, 25]。

BVOCs 排放计算公式如下:

$$E = \varepsilon \cdot \gamma \cdot \rho$$

式中, E 为排放量, 单位 $\text{mg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$; ε 为标准条件下的排放因子, 单位 $\text{mg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$; γ 为排放校正因子, ρ 为逸散系数。由于标准排放因子在标准条件下测得, 因此需要考虑 LAI、光量子通量密度、温度、叶龄及土壤湿度环境校正因子, 计算公式如下:

$$\gamma = \gamma_{\text{CE}} \cdot \gamma_{\text{age}} \cdot \gamma_{\text{SM}}$$

$$\gamma_{\text{CE}} = C_{\text{CE}} \cdot \gamma_{\text{pt}} \cdot \text{LAI}$$

式中, γ_{CE} 为环境校正因子, C_{CE} 取常数 0.57, γ_{pt} 为光量子通量密度和温度加权平均; γ_{age} 为叶龄因子; γ_{SM} 为土壤湿度校正因子。

1.3 数据的获取和处理

LAI 指单位土地面积上植物叶片总面积占土地面积的倍数, 在时空上不断变化反映植物生长状况。本数据为 2014 年 MODIS LAI 产品 MOD15A2。EF 指标准情况下单位叶生物量植被排放 VOCs 的速率。本数据为在线数据 (<http://lar.wsu.edu/megan/guides.html>)。2014 年气象数据由 WRF V3.0 提供, 空间分辨率为 4 km × 4 km。PFT 数据指各植被类型面积所占比例。本文通过遥感解译将长三角地区植被分为阔叶林、针叶林、灌丛、草地和农田。遥感影像资料在获取植被信息等方面具有明显优势^[26]。本研究中植被数据基于 30 m 空间分辨率的国产环境卫星 CCD 数据与生态系统分类体系, 采用面向对象的自动分类技术和野外样点调查获取。遥感解译 PFT 结果如表 1 和图 2 所示。

2 结果与讨论

2.1 长三角地区 BVOCs 排放总量

结果表明, 2014 年长三角地区 BVOCs 排放总量约为 188.6 万 t, 其中异戊二烯、单萜烯及其他 VOCs 排放量约为 70.42、30.3、87.88 万 t, 分别占 BVOCs 排放总量的 37.3%、16.1%、46.6%, 区域单位面积 BVOCs 排放量为 $5.2 \text{ t} \cdot (\text{km}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ 。浙江、安徽、江苏和上海排放量分别约为 84.2 万 t (44.6%)、76 万 t (40.3%)、27.2 万 t (14.4%)、

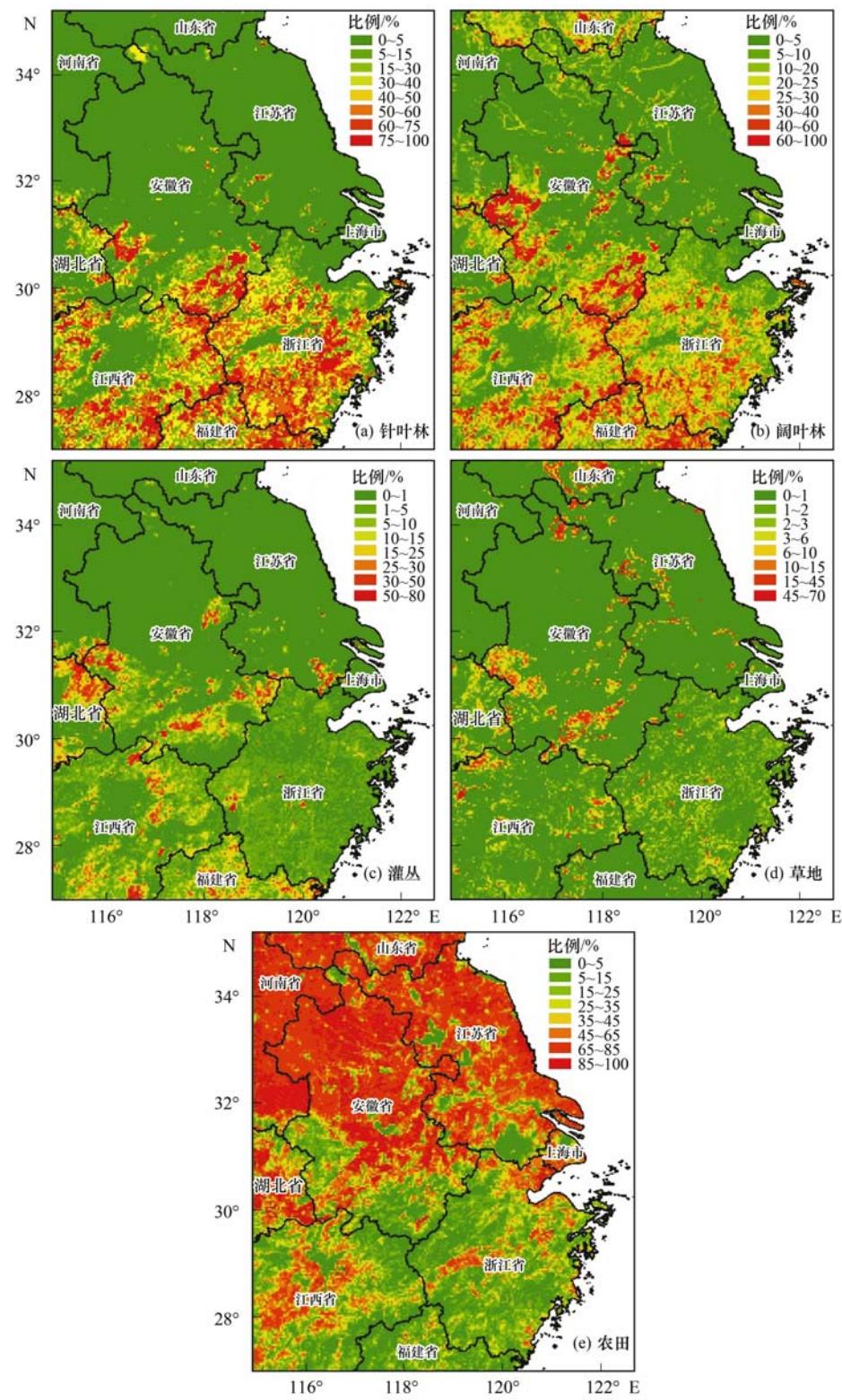


图2 长三角地区植被类型分布
Fig. 2 Distribution of the vegetation types in the YRD

1.2万t(0.7%)。

本文与部分研究学者估算结果比较见表2。本文与文献[6, 18, 21]对珠三角、重庆主城区及世界范围内的单位面积 BVOCs 排放量结果较为接近。

但高于张钢锋等^[1]和宋媛媛等^[2]的研究结果，原因可能是本文基于遥感解译和野外调查获取植被数据，减少了不确定性；张钢锋等^[1]主要基于树种计算排放量，未考虑灌丛、农田、草地等的排放；宋

表 1 植被覆盖类型面积统计

Table 1 Statistics of the vegetation areas

序号	I 级分类	II 级分类	面积/km ²
1	林地	常绿阔叶林	4.6×10^4
		落叶阔叶林	11.8×10^4
		常绿针叶林	9×10^4
		落叶针叶林	0.4×10^4
		针阔混交林	1.54×10^4
		常绿阔叶灌木林	0.9×10^4
		落叶阔叶灌木林	0.9×10^4
		常绿针叶灌木林	0.1×10^3
		乔木园地	0.2×10^4
2	草地	灌木园地	0.2×10^4
		乔木绿地	0.6×10^3
		草甸	0.891
3	湿地	草丛	0.6×10^4
		草本绿地	0.3×10^4
4	耕地	森林沼泽	3
		灌丛沼泽	3.1
5	其他	草本沼泽	1 497.7
		水田	14.3×10^4
		旱地	9.8×10^4
	稀疏林	稀疏灌木林	190.2
		稀疏草地	13.9
		稀疏草地	104

表 2 长三角地区与其他地区 BVOCs 排放的对比

Table 2 Comparison of the BVOCs emissions in the YRD and other regions

区域	天然源排放量 /万 t·a ⁻¹	基准年	估算区域 /km ²	平均面积 BVOC 排放 /t·(km ² ·a) ⁻¹	方法	文献
长三角(江浙沪皖)	188.6	2014	3.6×10^5	5.2	MEGAN	本研究
长三角(江浙沪皖)	110	2010	3.6×10^5	3.1	MEGAN	[2]
长三角(江浙沪皖)	23.9	2003	3.6×10^5	0.7	树种蓄积量	[1]
重庆市主城区	2.93	2010	5.47×10^3	5.4	CHL 算法	[18]
珠三角	30	2006	4.7×10^4	6.3	GloBEIS	[6]
中国	856.576	1981~2003	9.63×10^6	0.9	蓄积量	[1]
世界	100 700	2000	1.49×10^8	6.8	MEGAN	[21]

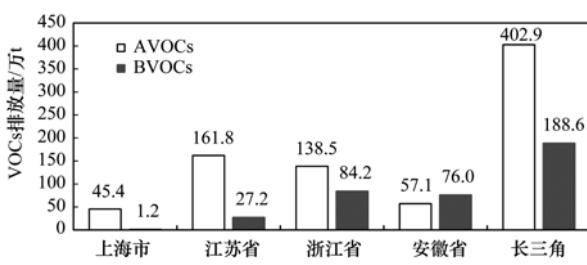


图 3 2014 年长三角地区 VOCs 排放量

Fig. 3 VOCs emissions in the YRD in 2014

和丙酮占 BVOCs 总排放量的 85%。图 5 为长三角各省市 BVOCs 主要组分的排放情况及排放贡献。可见异戊二烯对江苏、上海、安徽和浙江的贡献分别为 34.1%、38.6%、36.5% 和 39.2%，对整个长三角地区的贡献为 37.3%。甲醇对江苏、上海、安徽和浙江的贡献分别为 34.6%、35.5%、20.8% 和

媛媛等^[2]植被数据时间上存在一定的滞后性，且以 1、4、7、10 月的排放量推算年总排放量。植被类型分布、研究方法、数据获取及气候条件等的不同是研究结果存在差异的主要原因。因此，有必要针对 BVOCs 的排放进行动态更新。

本文与长三角地区 AVOCs 排放结果进行比较，AVOCs 数据来源于上海市环境科学研究院 2014 年长三角 AVOCs 排放清单。如图 3，长三角地区 BVOCs 排放量低于 AVOCs 排放量，BVOCs 排放是 AVOCs 排放的 46.8%，AVOCs 主要集中在江苏省 (40.2%) 和浙江省 (34.4%)，BVOCs 主要集中在浙江省 (44.6%) 和安徽省 (40.3%)，上海市 AVOCs 排放远大于 BVOCs。但有研究表明 BVOCs 的化学反应活性更高于 AVOCs^[27, 28]，污染防控措施对 BVOCs 排放几乎不受影响，因此对 BVOCs 排放的研究将对掌握长三角地区 O₃ 和 SOA 的区域背景十分重要的。

2.2 长三角地区 BVOCs 物种组成特征

通过 MEGAN 模式估算的 VOCs 达 146 种^[21]，图 4 可见其中异戊二烯、单萜烯、倍半萜烯、甲醇

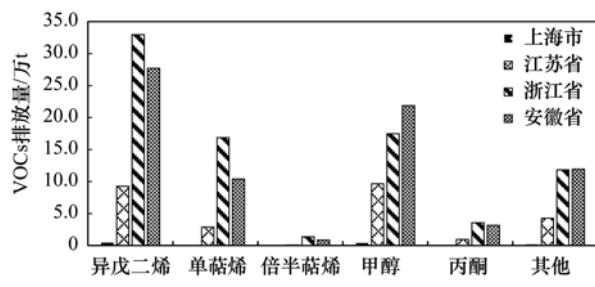


图 4 各省市 BVOCs 主要组分排放量

Fig. 4 Emissions of the major components of BVOCs by province

28.8%；单萜烯对江苏、上海、安徽和浙江的贡献分别为 10.7%、7.2%、13.7% 和 20.1%。

与其他研究结果相比，表 3 中本研究异戊二烯占比低于张钢锋等^[1]和池彦琪等^[27]研究结果，可能与采用的树种蓄积量和产量方法主要基于树种估

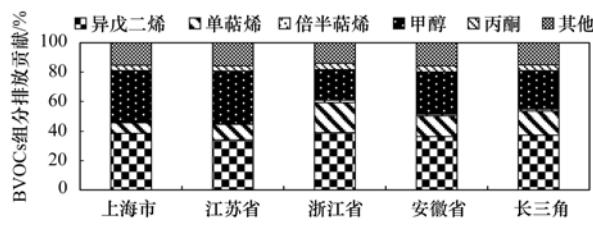


图5 各省市BVOCS主要组分排放贡献
Fig. 5 Emission contribution of the major components of BVOCs by province

算, 树种排放能力远高于农田、草地有关; 高于郑君瑜等^[6]和Klinger等^[29]研究结果, 可能是因为本研究以遥感解译和野外调查获取本地化植被数据,

较郑君瑜等^[6]和Klinger等^[29]在数据准备上减小了不确定性; 与Chang等^[30]估算的台湾地区相比结果较为接近。单萜烯占比与Guenther等^[21]研究结果一致, 与文献[1, 27, 29, 31]的计算值相近; 但低于郑君瑜等^[6]和Chang等^[30]的结果值, 研究发现单萜烯与温度高低和针叶林分布有关^[32~34], 珠三角和台湾地区年均温高于长三角地区, 且很多针叶林一年四季保持常绿, 因此单萜烯排放量大。各研究存在差异的原因有: ①研究区域不同, 导致植被分布情况、太阳辐射等不同, 进而排放特征存在差异; ②估算方法不同; ③数据源不同。

表3 长三角地区与其他地区BVOCS排放组分对比/%

Table 3 Comparison of BVOCS emissions in the YRD and other regions/%

区域	异戊二烯	单萜烯	其他	文献
长三角地区	37.3	16.1	46.6	本研究
长三角(江浙沪皖)	56.7	19.8	23.5	[1]
台湾	37.2	30.4	32.4	[30]
珠三角	25.0	34.0	41.0	[6]
中国	19.9	17.0	63.1	[29]
中国	28.4	19.3	52.3	[31]
中国	58.1	17.4	24.5	[27]
世界	53.1	16.1	30.8	[21]

2.3 长三角地区BVOCS排放的时间分布

从表4可见长三角地区BVOCS排放夏季达到高峰, 排放量约为108.8万t, 占全年BVOCS排放量的60.9%, 因为夏季气温高, 太阳辐射强, 植被生长最为旺盛。冬季BVOCS排放达到最低值, 排放量约为5.7万t, 占全年总量的3.2%, 因为冬季气温低、太阳辐射弱, 树木凋零, BVOCS排放量较少。

图6和图7分别为各月BVOCS排放变化。从中可见, 长三角地区BVOCS的总排放存在明显的峰值和谷值, 7月各物种排放达到最高值, 1月处于最低值。异戊二烯排放随季节变化幅度较大, 单萜烯排放波动相对平稳。一是因为异戊二烯主要来自阔叶林, 而单萜烯主要来自于针叶林^[34, 35], 阔叶林

春季开始萌芽, 夏季生长最为旺盛, 秋季和冬季树木几乎不排放, 长三角地区常绿针叶林覆盖率高, 一年四季都保持常绿, 从而全年都保持排放。二是单萜烯只受温度控制, 而异戊二烯既受温度的影响, 还与光照有关^[10, 36]。

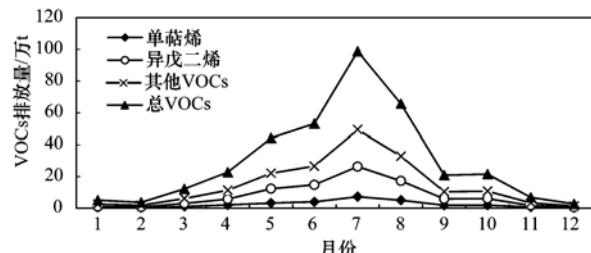


图6 长三角地区BVOCS释放量的月变化

Fig. 6 Monthly variation of BVOCS emissions in the YRD

表4 长三角地区BVOCS排放季节变化

Table 4 Seasonal variation of BVOCS emissions in the YRD

季节	异戊二烯		单萜烯		其他 VOCs		总 VOCs	
	排放量/万t	质量分数/%	排放量/万t	质量分数/%	排放量/万t	质量分数/%	排放量/万t	质量分数/%
春季	14.7	21.9	6.5	22.5	18.5	22.2	39.6	22.2
夏季	42.1	62.8	16.3	56.8	50.4	60.7	108.8	60.9
秋季	9.2	13.7	4.5	15.8	10.92	13.1	24.6	13.8
冬季	1.1	1.5	1.4	4.9	3.3	4.0	5.7	3.2

2.4 长三角地区BVOCS排放空间分布特征

表5为长三角地区各植被类型BVOCS排放情

况, 各植被类型排放贡献率为阔叶林(32.6%)>针叶林(30.0%)>灌丛(16.7%)>农田(15.3%)>

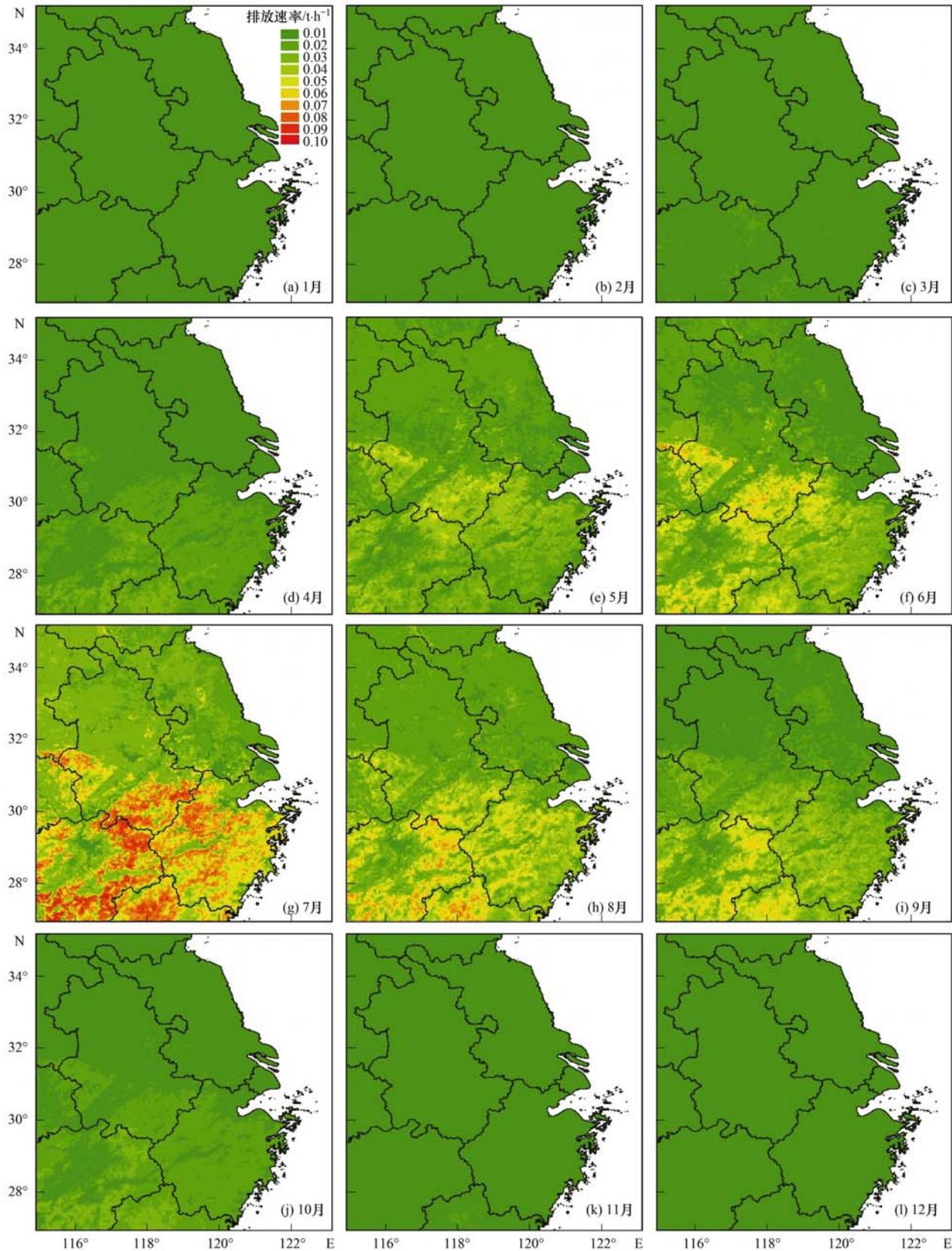


图 7 长三角各月份 BVOCs 排放速率

Fig. 7 Emission rate distribution of BVOCs in the YRD

草地(8.1%)。BVOCs 主要来源于森林、灌丛两类植被, 占总量的 75.2%, 异戊二烯主要由阔叶林排

放, 单萜烯主要来源于针叶林, 甲醇以农田排放居多, 灌丛、草地对各 BVOCs 均有排放, 但排放较

低。图8为BVOCS排放分布情况，可见BVOCS排放分布呈现南高北低，主要跟植被类型分布有关，浙江、安徽以林地和灌丛为主，BVOCS排放量较高；江苏以农田居多，排放量较低。据估算浙江、

安徽、江苏和上海排放量分别约为84.2万t(44.6%)、76万t(40.3%)、27.2万t(14.4%)、1.2万t(0.7%)。总之，BVOCS排放主要与地区植被类型分布有关。

表5 长三角地区各植被类型BVOCS排放情况

Table 5 BVOCS emissions by the vegetation types in the YRD

植被类型	异戊二烯排放速率/t·h ⁻¹	单萜烯排放速率/t·h ⁻¹	甲醇排放速率/t·h ⁻¹	其他 VOCs 排放速率/t·h ⁻¹	总 VOCs 排放速率/t·h ⁻¹	总排放量/万 t	贡献率/%
阔叶林	529	156	66	75	826	59.5	32.6
针叶林	258	325	83	95	761	54.8	30.0
灌丛	210	140	13	60	423	30.5	16.7
农田	109	56	209	15	389	28.0	15.3
草地	105	89	3	8	205	14.8	8.1

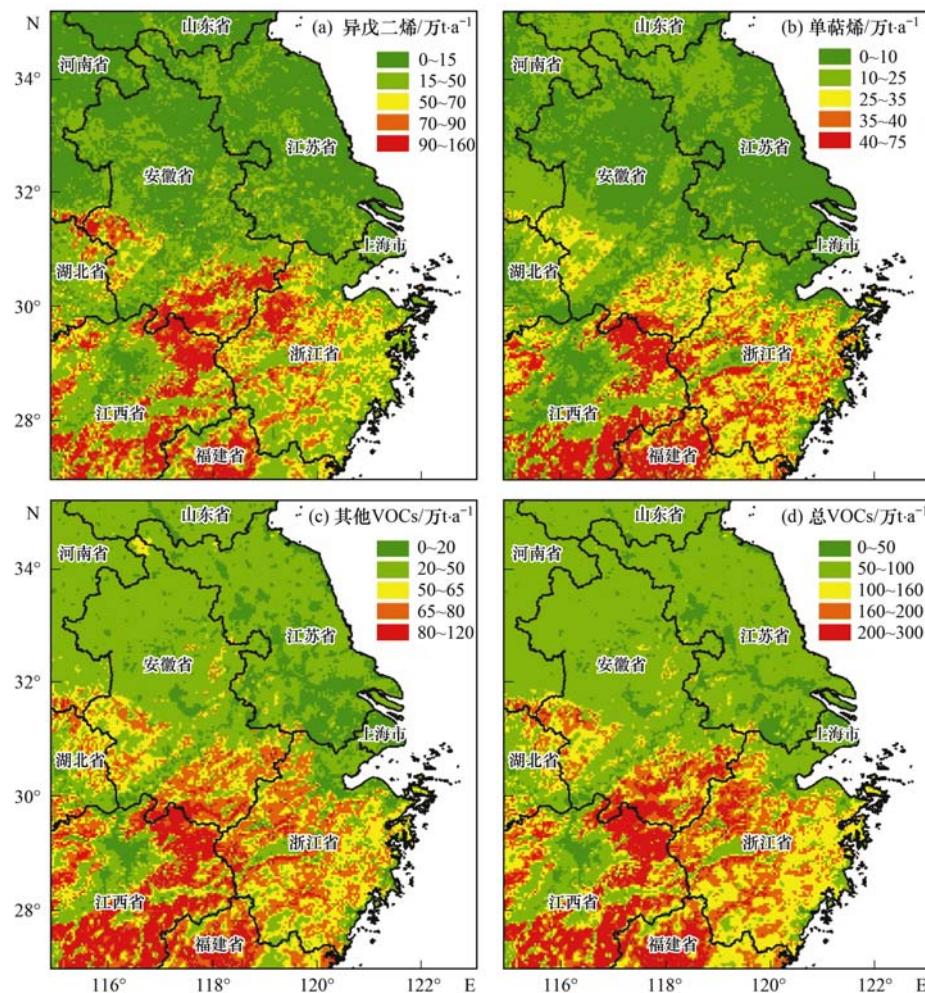


图8 长三角地区BVOCS排放量分布

Fig. 8 Spatial distribution of the BVOCS chemical species emissions

据估算水田BVOCS排放量占农田总排放的64%，由图9可知水田面积分布多于旱地，主要分布在江苏和安徽。同时水田作为季节性农作物，一年两熟，跟旱地比其BVOCS排放持续时间长，排放量高。

2.5 不确定性分析

植被是影响BVOCS排放的重要因素，遥感解译带来的解译误差将严重影响估算结果^[6,37]；气象参数的时空变异也是估算误差的主要来源^[38]；排放因子也会导致估算结果的不确定性，池彦琪

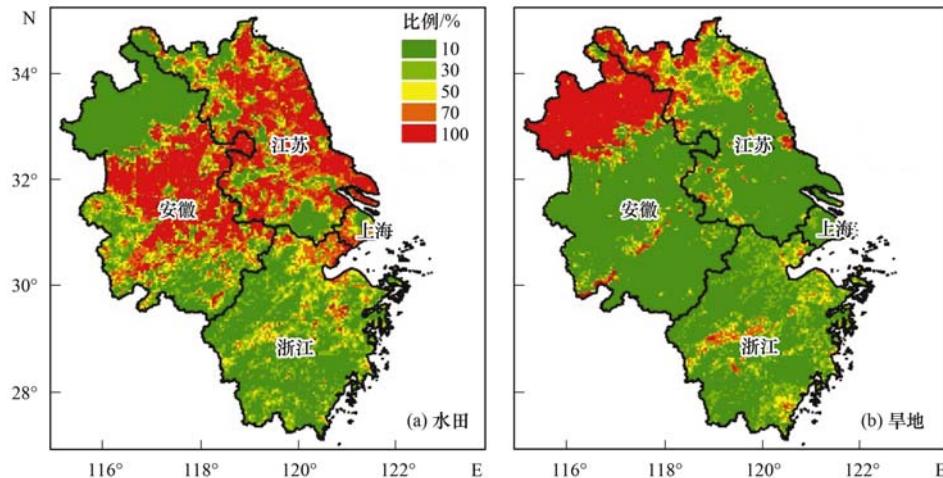


图9 长三角地区旱地和水田分布

Fig. 9 Distribution of the dry land and paddy fields in the YRD

等^[27]将排放因子不确定性控制在 50% 以内; 郑君瑜等^[39]采用蒙特卡罗模型发现排放因子是最大的不确定源。Hanna 等^[40]利用蒙特卡罗模型发现活动水平和排放因子导致的异戊二烯排放量不确定性的相对误差在 95% 左右, 单萜烯和其他 VOCs 的误差在 20% 左右。本文只简单定性评价了估算结果的不确定因素, 未给出不确定性的量化评价及不确定性来源。

3 结论

(1) 本研究利用 WRF 获取气象数据, 遥感解译获取植被资料, LAI 数据来自卫星遥感资料, 通过 MEGAN 估算长三角地区 BVOCs 排放量并分析了时空变化特征。

(2) 2014 年长三角地区 BVOCs 总排放量约为 188.6 万 t, 平均面积 BVOCs 排放达 5.2 t·(km²·a)⁻¹, 异戊二烯约 70.42 万 t(37.3%), 单萜烯约 30.3 万 t(16.1%), 其他 VOCs 约 87.88 万 t(46.6%)。

(3) 时间变化上, 长三角地区 BVOCs 排放呈现明显的季节变化, 排放速率夏季 > 春季 > 秋季 > 冬季。夏季占全年排放量的 60.9% (108.8 万 t), 7 月就占全年排放量的 27.6% (49.4 万 t), 冬季仅占全年排放量的 3.2%。

(4) 空间分布上, 各植被类型排放贡献率为阔叶林(32.6%) > 针叶林(30.0%) > 灌丛(16.7%) > 农田(15.3%) > 草地(8.1%)。浙江、安徽、江苏和上海排放量分别约为 84.2 万 t(44.6%)、76 万 t(40.3%)、27.2 万 t(14.4%)、1.2 万 t(0.7%)。

参考文献:

- [1] 张钢锋, 谢绍东. 基于树种蓄积量的中国森林 VOC 排放估算 [J]. 环境科学, 2009, 30(10): 2816-2822.
Zhang G F, Xie S D. Estimation of VOC emission from forests in China based on the volume of tree species [J]. Environmental Science, 2009, 30(10): 2816-2822.
- [2] 宋媛媛. 基于遥感的中国地区 BVOCs 排放特征研究 [D]. 南京: 南京大学, 2012. 1-8.
Song Y Y. Estimation of biogenic VOCs emissions in China based on remote sensing data [D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2012. 1-8.
- [3] 王倩, 陈长虹, 王红丽, 等. 上海市秋季大气 VOCs 对二次有机气溶胶的生成贡献及来源研究 [J]. 环境科学, 2013, 34(2): 424-433.
Wang Q, Chen C H, Wang H L, et al. Forming potential of secondary organic aerosols and sources apportionment of VOCs in autumn of Shanghai, China [J]. Environmental Science, 2013, 34(2): 424-433.
- [4] 王倩, 王红丽, 周来东, 等. 成都市夏季大气挥发性有机物污染及其对二次有机气溶胶生成的贡献 [J]. 环境污染与防治, 2015, 37(7): 6-12.
Wang Q, Wang H L, Zhou L D, et al. Pollution of volatile organic compounds and their contribution to the secondary organic aerosol formation in summer of Chengdu [J]. Environmental Pollution and Control, 2015, 37(7): 6-12.
- [5] 李莹莹, 李想, 陈建民. 植物释放挥发性有机物(BVOC)向二次有机气溶胶(SOA)转化机制研究 [J]. 环境科学, 2011, 32(12): 3588-3592.
Li Y Y, Li X, Chen J M. Study on transformation mechanism of SOA from biogenic VOC under UV-B condition [J]. Environmental Science, 2011, 32(12): 3588-3592.
- [6] 郑君瑜, 郑卓云, 王兆礼, 等. 珠江三角洲天然源 VOCs 排放量估算及时空分布特征 [J]. 中国环境科学, 2009, 29(4): 345-350.
Zheng J Y, Zheng Z Y, Wang Z L, et al. Biogenic VOCs emission inventory and its temporal and spatial characteristics in the Pearl River Delta area [J]. China Environmental Science, 2009, 29(4): 345-350.
- [7] Haagen-Smit A J, Darley E F, Zaitlin M, et al. Investigation on

- injury to plants from air pollution in the Los Angeles area [J]. *Plant Physiology*, 1952, **27**(1): 18-34.
- [8] Sanadze G A. Isoprene Effect. Light-dependent emission of isoprene by green parts of plants [A]. In: Sharkey T D, Holland E A, Mooney H A (Eds.). *Trace Gas Emission By Plants*. San Diego: Academic, 1991. 135-152.
- [9] Guenther A, Hewitt C, Erickson D, et al. A global model of natural volatile organic compound emissions [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1995, **100**(D5): 8873-8892.
- [10] 王永峰, 李庆军. 陆地生态系统植物挥发性有机化合物的排放及其生态学功能研究进展[J]. 植物生态学报, 2005, **29**(3): 487-496.
- Wang Y F, Li Q J. BVOCs emitted from plants of terrestrial ecosystems and their ecological functions [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, **29**(3): 487-496.
- [11] 白建辉, 王明星, 胡非, 等. 植物挥发性有机物的初步研究 [J]. 气候与环境研究, 2003, **8**(2): 180-187.
- Bai J H, Wang M X, Hu F, et al. The primary research on the biogenic volatile organic compounds [J]. *Climatic and Environmental Research*, 2003, **8**(2): 180-187.
- [12] 吕铃钥, 李洪远, 杨佳楠. 中国植物挥发性有机化合物排放估算研究进展[J]. 环境污染与防治, 2015, **37**(11): 83-89.
- Lv L Y, Li H Y, Yang J N. Research process of the emission estimate of biogenic volatile organic compounds in China [J]. *Environmental Pollution and Control*, 2015, **37**(11): 83-89.
- [13] Macdonald R C, Fall R. Acetone emission from conifer buds [J]. *Phytochemistry*, 1993, **34**(4): 991-994.
- [14] Nemecek-Marshall M, Macdonald R C, Franzen J J, et al. Methanol emission from leaves (enzymatic detection of gas-phase methanol and relation of methanol fluxes to stomatal conductance and leaf development) [J]. *Plant Physiology*, 1995, **108**(108): 1359-1368.
- [15] Farina S C, Adams P J, Pandis S N. Modeling global secondary organic aerosol formation and processing with the volatility basis set: implications for anthropogenic secondary organic aerosol [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2010, **115**(D9): 1063-1063.
- Jacobson M C, Hansson H C, Noone K J, et al. Organic atmospheric aerosols: review and state of the science [J]. *Reviews of Geophysics*, 2013, **38**(2): 267-294.
- [17] 杨丹青, 白郁华, 李金龙, 等. 珠江三角洲地区天然源碳氢化合物的研究[J]. 中国环境科学, 2001, **21**(5): 422-426.
- Yang D J, Bai Y H, Li J L, et al. Study on hydrocarbon compounds from natural source in the Pearl River Delta area [J]. *China Environmental Science*, 2001, **21**(5): 422-426.
- [18] 吴莉萍, 翟崇治, 周志恩, 等. 重庆市主城区挥发性有机物天然源排放量估算及分布特征研究[J]. 三峡环境与生态, 2013, **35**(4): 12-15.
- Wu L P, Zhai C Z, Zhou Z E, et al. Research on the emission estimation and distribution characteristics of biogenic VOCs from natural sources in urban Chongqing [J]. *Environment and Ecology in the Three Gorges*, 2013, **35**(4): 12-15.
- [19] 宋媛媛, 张艳燕, 王勤耕, 等. 基于遥感资料的中国东部地区植被VOCs排放强度研究[J]. 环境科学学报, 2012, **32**(9): 2216-2227.
- Song Y Y, Zhang Y Y, Wang Q G, et al. Estimation of biogenic VOCs emissions in Eastern China based on remote sensing data [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2012, **32**(9): 2216-2227.
- [20] 司徒淑婷, 王雪梅, Guenther A, 等. 典型夏季珠江三角洲地区植被的异戊二烯排放[J]. 环境科学学报, 2009, **29**(4): 822-829.
- Situ S P, Wang X M, Guenther A, et al. Typical summertime isoprene emission from vegetation in the Pearl River Delta region, China [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2009, **29**(4): 822-829.
- [21] Guenther A B, Jiang X, Heald C L, et al. The model of emissions of gases and aerosols from nature version 2.1 (MEGAN2.1): an extended and updated framework for modeling biogenic emissions [J]. *Geoscientific Model Development Discussions*, 2012, **5**(6): 1503-1560.
- [22] 王红丽. 上海市光化学污染期间挥发性有机物的组成特征及其对臭氧生成的影响研究[J]. 环境科学学报, 2015, **35**(6): 1603-1611.
- Wang H L. Characterization of volatile organic compounds (VOCs) and the impact on ozone formation during the photochemical smog episode in Shanghai, China [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2015, **35**(6): 1603-1611.
- [23] 王红丽. 上海市大气挥发性有机物化学消耗与臭氧生成的关系[J]. 环境科学, 2015, **36**(9): 3159-3167.
- Wang H L. Chemical loss of volatile organic compounds and its impact on the formation of ozone in Shanghai [J]. *Environmental Science*, 2015, **36**(9): 3159-3167.
- [24] Guenther A, Karl T, Harley P, et al. Estimates of global terrestrial isoprene emissions using MEGAN (model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature) [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2006, **6**(11): 3181-3210.
- [25] 张富华, 黄明祥, 张晶, 等. 生物源挥发性有机物(BVOCs)排放模型及排放模拟研究综述[J]. 中国环境管理, 2014, **6**(1): 30-43.
- Zhang F H, Huang M X, Zhang J, et al. A review on research of biogenic volatile organic compounds (BVOCs) emission model and emission simulation [J]. *Chinese Journal of Environmental Management*, 2014, **6**(1): 30-43.
- [26] 肖进原. 乌江流域自然植被遥感解译分析研究[J]. 贵州地质, 1996, (4): 357-362.
- Xiao J. Remote sensing interpretation and analysis of natural vegetation in Wujiang River Basin [J]. *Guzhou Geology*, 1996, (4): 357-362.
- [27] 池彦琪, 谢绍东. 基于蓄积量和产量的中国天然源 VOC 排放清单及时空分布[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2012, **48**(3): 475-482.
- Chi Y Q, Xie S D. Spatiotemporal inventory of biogenic Volatile Organic Compound emissions in China based on vegetation volume and production [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2012, **48**(3): 475-482.
- [28] 常杰, 任远, 史琰, 等. 亚热带城乡复合系统 BVOC 排放清单——以台州地区为例[J]. 生态学报, 2012, **32**(2): 641-649.
- Chang J, Ren Y, Shi Y, et al. An inventory of BVOC emissions for a subtropical urban-rural complex: Greater Taizhou Area [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, **32**(2): 641-649.
- [29] Klinder L F, Li Q J, Guenther A B, et al. Assessment of volatile organic compound emissions from ecosystems of China [J]. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 2002, **107**(21):

- 4063.
- [30] Chang K H, Chen T F, Huang H C. Estimation of biogenic volatile organic compounds emissions in subtropical island—Taiwan[J]. *Science of the Total Environment*, 2005, **346**(1-3):184-199.
- [31] 闫雁, 王志辉, 白郁华, 等. 中国植被 VOC 排放清单的建立[J]. *中国环境科学*, 2005, **25**(1): 110-114.
- Yan Y, Wang Z H, Bai Y H, et al. Establishment of vegetation VOC emission inventory in China [J]. *China Environmental Science*, 2005, **25**(1): 110-114.
- [32] 王志辉, 张树宇, 陆思华, 等. 北京地区植物 VOCs 排放速率的测定[J]. *环境科学*, 2003, **24**(2): 7-12.
- Wang Z H, Zhang S Y, Lu S H, et al. Screenings of 23 plant species in Beijing for volatile organic compound emissions [J]. *Environmental Science*, 2003, **24**(2): 7-12.
- [33] 赵静, 白郁华, 王志辉, 等. 我国植物 VOCs 排放速率的研究[J]. *中国环境科学*, 2004, **24**(6): 654-657.
- Zhao J, Bai Y H, Wang Z H, et al. Studies on the emission rates of plants VOCs in Chin[J]. *China Environmental Science*, 2004, **24**(6): 654-657.
- [34] 谢扬飏, 邵敏, 陆思华, 等. 北京市园林绿地植被挥发性有机物排放的估算[J]. *中国环境科学*, 2007, **27**(4): 498-502.
- Xie Y Y, Shao M, Lu S H, et al. The estimation of volatile organic compounds emission from landscape plants in Beijing [J]. *China Environmental Science*, 2007, **27**(4): 498-502.
- [35] 高翔, 刘茂辉, 徐媛, 等. 天津市植被异戊二烯排放量及时空分布特征[J]. *福建林业科技*, 2016, **43**(3): 27-32.
- Gao X, Liu M H, Xu Y, et al. Biogenic isoprene emission inventory and its temporal and spatial characteristics in Tianjin [J]. *Journal of Fujian Forestry Science and Technology*, 2016, **43**(3): 27-32.
- [36] 胡泳涛, 张远航, 谢绍东, 等. 区域高时空分辨率 VOC 天然源排放清单的建立[J]. *环境科学*, 2001, **22**(6): 1-6.
- Hu Y T, Zhang Y H, Xie S D, et al. Development of biogenic VOC emissions inventory with high temporal and spatial resolution [J]. *Environmental Science*, 2001, **22**(6): 1-6.
- [37] 毛红梅, 张凯山, 第宝锋. 四川省天然源 VOCs 排放量的估算和时空分布 [J]. *中国环境科学*, 2016, **36**(5): 1289-1296.
- Mao H M, Zhang K S, Di B F. Studies on estimates of biogenic VOC emission and its temporal and spatial distribution in Sichuan [J]. *China Environmental Science*, 2016, **36**(5): 1289-1296.
- [38] 谢军飞, 李延明. 植物源挥发性有机化合物排放清单的研究进展[J]. *环境科学*, 2013, **34**(12): 4779-4786.
- Xie J F, Li Y M. Research advances on volatile organic compounds emission inventory of plants [J]. *Environmental Science*, 2013, **34**(12): 4779-4786.
- [39] 郑君瑜, 王水胜, 黄志炯, 等. 区域高分辨率大气排放源清单建立的技术方法与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2013. 233-234.
- [40] Hanna S R, Russell A G, Wilkinson J G, et al. Monte Carlo estimation of uncertainties in BEIS3 emission outputs and their effects on uncertainties in chemical transport model predictions [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2005, **110**(D1): D01302.

CONTENTS

Preface	HAO Zheng-ping (477)
VOCs Emission from Motor Vehicles in China and Its Impact on the Atmospheric Environment	CHEN Tian-zeng, GE Yan-li, LIU Yong-chun, et al. (478)
Quantification of the Influence of Industrial Emissions on Volatile Organic Compounds (VOCs) Using PMF Model: A Case Study of Jiangbei Industrial Zone in Nanjing	HU Kun, WANG Ming, ZHENG Jun, et al. (493)
Source Analysis of Volatile Organic Compounds in the Nanjing Industrial Area and Evaluation of Their Contribution to Ozone	ZHANG Yu-xin, AN Jun-lin, WANG Jun-xiu, et al. (502)
Ozone Formation Potential and Priority Species of VOCs in an Industrial Park	WU Lei-dan, WANG Xiu-yan, YANG Wen, et al. (511)
Characteristics and Source Apportionment of VOCs of a Petrochemical Industrial Park During Autumn in China	HU Tian-peng, LI Gang, MAO Yao, et al. (517)
Characteristics of VOCs Pollution in the Winter Atmosphere of a Typical Petrochemical Industry Park	MAO Yao, LI Gang, HU Tian-peng, et al. (525)
Emission Inventory and Pollution Characteristics of Industrial VOCs in Hangzhou, China	LU Bin, HUANG Cheng, LU Qing, et al. (533)
Industrial VOCs Emission in Qinhuangdao	HU Xiao-yu, LIU Hang, WANG Nai-yu, et al. (543)
Pollution Characteristics and Emission Coefficient of Volatile Organic Compounds from Auto/motorcycle Parts & Accessories Manufacturing in Zhejiang Province	YANG Zhong-ping, WANG Zhe-ming, HE Zhi-qiao, et al. (551)
Stench Sources and Impact Analysis in Automobile Making	SHI Tian-li, ZHANG Wei-xia, CHEN Xiao-fang, et al. (557)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of VOCs Fugitively Emitted from Typical Brewers	GAO Zhan-qi, HU Guan-jiu, WANG Hui, et al. (567)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Atmospheric VOCs in Chengdu	LI You-ping, TANG Ya, FAN Zhong-yu, et al. (576)
Indoor Formaldehyde and Benzene Series in Shanghai Residences and Their Associations with Building Characteristics and Lifestyle Behaviors	JIANG Qiao-yun, LIU Ping-ping, WANG Xue-ying, et al. (585)
Emission Inventory of Anthropogenically Sourced VOCs and Its Contribution to Ozone Formation in Jiangsu Province	XIA Si-jia, LIU Qian, ZHAO Qiu-yue (592)
Emission Inventory of Anthropogenic VOCs in Jiangmen City	CHEN Xiao-fang, ZHANG Wei-xia, CHEN Bing-xu, et al. (600)
Emissions, Chemical Composition, and Spatial and Temporal Allocation of the BVOCs in the Yangtze River Delta Region in 2014	LIU Yan, LI Li, AN Jing-yu, et al. (608)
VOCs Emission Inventory of Service Stations in a Subcenter (Tongzhou District) of the City of Beijing	HUANG Yu-hu, HU Wei, LI Bei-bei, et al. (618)
Pollutant Emissions from Diesel Buses Fueled with Waste Cooking Oil Based Biodiesel	HU Zhi-yuan, LIN Biao-qi, HUANG Cheng, et al. (626)
Treatment of the Waste Gas Containing Methyl <i>tert</i> -Butyl Ether via a Biotrickling Filter	CHU Qi-ying, YAO Lu-lu, LÜ Xiong-biao, et al. (633)
Composite CVOCs Removal in a Combined System of Nonthermal Plasma and a Biotrickling Filter	GUO Hai-qian, MIAO Jing-jing, JIANG Li-ying, et al. (640)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Volatile Organic Compounds (VOCs) and Semi-volatile Organic Compounds (SVOCs) in Qiantang River's Hangzhou Section During a Water Odor Pollution Event	CHEN Feng, TANG Fang-liang, XU Jian-fen, et al. (648)
Occurrence and Spatial Distribution of Volatile Organic Compounds in Urban Drinking Water Distribution Systems	XU Mei-jia, WANG Hai-liang, LI Chun-mei, et al. (655)
Health Risk Assessment of Volatile Organic Compounds for Different Commuting Modes	TONG Rui-peng, ZHANG Lei (663)
Source Analysis and Environmental Health Risk Assessment of VOCs in Furniture Manufacturing	TONG Rui-peng, ZHANG Lei, YANG Xiao-qi, et al. (672)
Spatio-temporal Distribution Characteristics of PM _{2.5} and Spatio-temporal Variation Characteristics of the Relationship Between PM _{2.5} and PM ₁₀ in Beijing	YANG Wen-tao, YAO Shi-qi, DENG Min, et al. (684)
Quantification of Methane Ebullition Flux from Small Ponds Using the Inverted-Funnel Method	ZHANG Xiu-fang, XIAO Wei, ZHANG Mi, et al. (691)
Contamination Levels and Exposure Risk via Drinking Water from Perfluoroalkyl Acids in Seven Major Drainage Basins of China	WANG Xin-xuan, ZHANG Hong, WANG Yan-ping, et al. (703)
Spatio-temporal Distribution and Source Apportionment of Nitrogen in Rivers of Tieling	YANG Li-biao, LEI Kun, QIAO Fei, et al. (711)
Characteristics of Chromophoric Dissolved Organic Matter (CDOM) in Rivers of Western Sichuan Plateau Based on EEM-PARAFAC Analysis	LIU Yan-yang, QIN Ji-hong, LIU Chen, et al. (720)
Assessment of Heavy Metal Pollution and Human Health Risk of Surface Waters in the City of Ningbo, China	XU Mei-juan, BAO Bo, CHEN Chun-yan, et al. (729)
Temporal-spatial Distribution and Pollution Assessment of Dissolved Heavy Metals in Chaohu Lake	WU Lei, LIU Gui-jian, ZHOU Chun-cai, et al. (738)
Spatial Distribution, Sources and Bioavailability of Heavy Metals in the Surface Sediments of Longjiang River, Southern China	LAN Xiao-long, NING Zeng-ping, XIAO Qing-xiang, et al. (748)
Mechanism on Enhanced Nitrogen Removal in Municipal Secondary Effluent via Internal-Electrolysis Constructed Wetlands at Low Temperature in Winter	ZHENG Xiao-ying, ZHU Xing, WANG Ju, et al. (758)
Dynamic Replenishment Process of Nutrients in Tributary of Channel Reservoir	XU Ya-qian, XU Piao, YANG Zheng-jian, et al. (765)
Effect of the Rainfall on Extinction of Cyanobacteria Bloom and Its Mechanism Analysis	LIU Xin-yuan, SONG Lin-xu, JI Dao-bin, et al. (774)
Relationship Between Macrophyte Communities and Macroinvertebrate Communities in an Urban Stream	QU Xiao-dong, YU Yang, ZHANG Min, et al. (783)
Characteristics of Nitrogen and Phosphorus Output in Runoff and Rainfall Runoff in Lanlingxi Watershed, Three Gorges Reservoir Area	ZHANG Lin, HUANG Zhi-lin, XIAO Wen-fa, et al. (792)
Screening Method of Priority Control Pollutants in Groundwater Based on Contamination Assessment	ZHAO Peng, HE Jiang-tao, WANG Man-li, et al. (800)
Effect of Sulfur to Quartz Sand Ratios on the Removal of High-Concentration Perchlorate in Packed-Bed Reactors	TAO Hua-qiang, SHAO Dong-hai, ZHANG Chao, et al. (811)
Adsorption of Methylene Blue and Cu(II) by Activated Carbon/Macromolecule Composite Hydrogel	KONG Yan, ZHUANG Yuan, SHI Bao-you, et al. (819)
Adsorption Performance and Mechanism of HZO ₂ /SGH for the Removal of Fluoride from Aqueous Solution	MA Fu-zhen, ZHOU Shao-qi, LIU Ze-jun, et al. (828)
Mechanism of MgO/GAC Catalyzed Ozonation of Organic Compounds	XU Shan-shan, LIN Cun-wang, DING Ya-lei, et al. (838)
Ozonation Characteristics of Low Coagulability Organic Matter from the Secondary Effluent of WWTPs	HOU Rui, JIN Xin, JIN Peng-kang, et al. (844)
Quantitative Analysis of Dominant Pollutants in Secondary Effluent via Dye Probe Technology	MENG Xiao-rong, WANG Cong-hui, WANG Lei, et al. (852)
Lab-scale ANAMMOX Process in a Wastewater Treatment Plant	LI Dong, ZHAO Shi-xun, WANG Jun-an, et al. (859)
Effect of Aeration Rate on Shortcut Nitrification Recovery in Intermittent Aeration Mode	LIU Hong, NAN Yan-bin, LI Hui, et al. (865)
Effect of Aerobic/Phosphorus Granules on Start-up of Partial Nitrification Granular Sludge	LI Dong, GUO Yue-zhou, CAO Mei-zhong, et al. (872)
Microbial Communities and Sludge Specific Resistance in Two SBRs Treating Leachate	CAI Li-yun, HUANG Ze-bin, XU Zi-wei, et al. (880)
Sources and Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from the Urbanization Process of Topsoil	YAO Hong, ZHANG Shi-chao, LIU Ming-li, et al. (889)
Spatial Variability and Contamination of Arsenic in Soils of Xijiang River Basin	LIU Chang, SONG Bo, ZHANG Yun-xia, et al. (899)
Characterization of Phosphorus in Urban Surface Soils in Kaifeng City and Its Risk of Loss	BAI Xiу-ling, MA Jian-hua, SUN Yan-Li, et al. (909)
Distribution Characteristics and Health Risk Assessment of Heavy Metals in a Soil-Rice System in an E-waste Dismantling Area	YIN Yi-meng, ZHAO Wei-tuo, HUANG Ting, et al. (916)
Residue Levels and Health Risk Assessment of Organochlorine Pesticides in Rice from Shanghai	MENG Yuan, LIU Cui-eui, QIU Yan-ling, et al. (927)
Effects of Tetracycline Antibiotics on Growth and Characteristics of Enrichment and Transformation in Two Vegetables	CHI Sun-lin, WANG Wei-zhong, XU Wei-hong, et al. (935)
Bioavailability of Silicon Fertilizer Coupled Water Management on Soil Bioavailability and Cumulative Control of Rice in Compound Contaminated Paddy Soils	LI Yuan-xing-lu, YE Chang-cheng, LIU Yu-ling, et al. (944)
Liver and Kidney Function of E-waste Dismantling Workers and Potential Influencing Factors	YAN Xiao, LI Shu-yuan, WANG Mei-huan, et al. (953)