

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第5期

Vol.33 No.5

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

区域空气质量模拟中查表法的应用研究 谢旻,王体健,江飞,李树,蔡彦枫,庄炳亮(1409)

长江三角洲地区秸秆露天焚烧大气污染物排放清单及其在空气质量模式中的应用 苏继峰,朱彬,康汉青,王红磊,王体健(1418)

北京及周边城市一元脂肪酸大气颗粒物干沉降通量及来源分析研究 徐小娟,李杏茹,王跃思,刘晨书,潘月鹏,王英锋(1425)

上海大气超细颗粒物和工业纳米颗粒的表征及细胞毒性的比较研究 张睿,吕森林,尚羽,易飞,任晶晶,郝晓洁,安静,吴明红(1431)

青岛市大气PM_{2.5}元素组成及来源研究 李秀镇,盛立芳,徐华,屈文军(1438)

冬季天津家庭室内空气颗粒物中邻苯二甲酸酯污染研究 王夫美,陈丽,焦姣,张雷波,姬亚芹,白志鹏,张利文,孙增荣,张星梅(1446)

再悬浮装置在大气PM_{2.5}源谱分析中的应用 段恒轶,钱冉冉,吴水平,印红玲(1452)

黔西南煤燃烧产物微量元素分布特征及富集规律研究 魏晓飞,张国平,李玲,项萌,蔡永兵(1457)

三峡水库不同运行状态下支流澎溪河水-气界面温室气体通量特征初探 蒋滔,郭劲松,李哲,方芳,白镭,刘静(1463)

香溪河库湾夏季温室气体通量及影响因素分析 王亮,肖尚斌,刘德富,陈文重,王雨春,陈小燕,段玉杰(1471)

臭氧浓度升高与土壤湿度对农田土壤微生物呼吸温度敏感性的影响 陈书涛,张勇,胡正华,史艳妹,沈小帅(1476)

托木尔峰青冰滩72号冰川径流水化学特征初步研究 赵爱芳,张明军,李忠勤,王飞腾,王圣杰(1484)

五大连池水溶性有机磷矿化特性的研究 张斌,席北斗,赵越,魏自民,白雪,王曼林(1491)

7条环太湖河流沉积物氮含量沿程分布规律 卢少勇,远野,金相灿,焦伟,吴瑶洁,任德有,周羽化,陈雷(1497)

巢湖十五里河沉积物氮磷形态分布及生物有效性 李如忠,李峰,周爱佳,童芳,钱家忠(1503)

北运河系地表水近10年来水质变化及影响因素分析 郭婧,荆红卫,李金香,李令军(1511)

东莞运河排涝对东江河水水质影响分析 孙磊,毛献忠,黄旻旻(1519)

北京平原区地下水污染源识别与危害性分级 陆燕,何江涛,王俊杰,刘丽雅,张小亮(1526)

地下水曝气修复过程的三维数值模拟 李恒震,胡黎明,王建,武晓峰,刘培斌(1532)

垂向水动力扰动机的蓝藻控制效应数值实验研究 邹锐,周璟,孙永健,嵇晓燕,岳佳,刘永(1540)

新型生物岛栅中污染物去除的微生物机制研究 高明瑜,谢慧君,王文兴(1550)

营养盐水平对念珠藻胞外有机物产生的影响 齐飞,刘晓媛,徐冰冰,黄岳,封莉,张立秋(1556)

水网藻种植水对铜绿微囊藻生长的抑制作用研究 傅海燕,柴天,赵坤,刘智峰,张明真,侯明,许鹏成(1564)

酞酸酯在模拟海河菹草微宇宙中的消减和分布特征 迟杰,杨青(1570)

电子束辐射对铜绿微囊藻毒素产生和释放的抑制作用研究 刘书宇,吴明红,姜钦鹏(1575)

青铜峡灌区典型排水沟水污特征解析 李强坤,胡亚伟,罗良国(1579)

四溴双酚A的辐照降解研究 李杰,徐殿斗,马玲玲,吴明红(1587)

污泥基活性炭催化臭氧氧化降解水中微量布洛芬的效能研究 王红娟,齐飞,封莉,张立秋(1591)

高水力负荷对人工湿地处理精养虾塘排水效果的影响 李怀正,章星异,陈卫兵,叶剑峰(1597)

城市污水生物脱氮系统出水经氯胺消毒形成NDMA的影响因素研究 尚晓玲,李咏梅(1604)

利用淀粉基共混物作为反硝化固体碳源的研究 沈志强,吴为中,杨春平,陈佳利,王建龙(1609)

好氧污泥颗粒化过程中Zeta电位与EPS的变化特性 王浩宇,苏本生,黄丹,崔晓娟,竺建荣(1614)

活性污泥对病毒的生物吸附特性 周玉芬,郑祥,雷洋,陈迪(1621)

阴离子型聚丙烯酰胺在离子交换膜上的吸附规律 邓梦洁,于水利,时文歆,衣雪松(1625)

两性修饰膨润土对苯酚的吸附及热力学特征 李婷,孟昭福,张斌(1632)

表面活性剂对苯并[a]芘在黑炭表面吸附解吸的影响 张景环,陈春溶,张玮航,栗桂州(1639)

南京市4个污水处理厂的活性污泥中细菌的分离鉴定和抗生素耐药性分析 葛峰,郭坤,周广灿,张会娟,刘济宁,戴亦军(1646)

焦化废水中苯酚降解菌筛选及其降解性能 陈春,李文英,吴静文,李静(1652)

Xanthobacter flavus DT8降解二噁英的特性研究 金小君,陈东之,朱润晔,陈静,陈建孟(1657)

未开发油气田地表烃氧化菌空间定量分布 满鹏,齐鸿雁,呼庆,马安周,白志辉,庄国强(1663)

矿化垃圾中氧化甲烷兼性营养菌的筛选与生物特性研究 赵天涛,项锦欣,张丽杰,全学军,赵由才(1670)

长江中游干流及22条支流表层水中多氯联苯的分布特征及其潜在风险 李昆,赵高峰,周怀东,曾敏,廖柏寒,吴正勇,张盼伟,郝红(1676)

典型血吸虫病区表层水中酚类化合物的污染特征及潜在风险 吴正勇,赵高峰,周怀东,李科林,曾敏,李昆,张盼伟,郝红(1682)

闽江福州段沉积物中多环芳烃的空间分布异质性研究 陈卫锋,倪进治,杨红玉,魏然,杨玉盛(1687)

三峡库区蓄水运用期表层沉积物重金属污染及其潜在生态风险评价 王健康,高博,周怀东,陆瑾,王雨春,殷淑华,郝红,袁浩(1693)

典型电器工业区河涌沉积物中重金属的分布和潜在生态风险 邓代永,孙国萍,郭俊,张宏涛,张琴,许玫英(1700)

密云水库上游金属矿区土壤中重金属形态分布及风险评价 高彦鑫,冯金国,唐磊,朱先芳,刘文清,季宏兵(1707)

湘西花垣矿区土壤重金属污染及其生物有效性 杨胜香,袁志忠,李朝阳,龙华,唐文杰(1718)

基于GIS的某训练场土壤重金属污染评价 刘玉通,方振东,杨琴,谢朝新,王大勇,毛华军(1725)

土壤质地和湿度对SVE技术修复苯污染土壤的影响 刘少卿,姜林,姚玉君,李艳霞,刘希涛,林春野(1731)

蒙脱土、高岭土和针铁矿对DNA吸附与解吸特征 王慎阳,饶伟,王代长,张亚楠,李腾,唐冰培,杨世杰(1736)

LNAPL在砂质含水层中动态迁移的电阻率法监测试验研究 潘玉英,贾永刚,郭磊,李进军,单红仙(1744)

亚临界水解预处理稻草秸秆制备活性炭及表征 董宇,申哲民,雷阳明,王茜,刘婷婷(1753)

蓝藻好氧堆肥及其氮素损失控制的研究 任云,崔春红,刘奋武,占新华,周立祥(1760)

固定化微生物技术修复PAHs污染土壤的研究进展 钱林波,元妙新,陈宝梁(1767)

《环境科学》征订启事(1483) 《环境科学》征稿简则(1620) 信息(1490,1496,1586,1743)

长江三角洲地区秸秆露天焚烧大气污染物排放清单及其在空气质量模式中的应用

苏继峰¹, 朱彬^{1*}, 康汉青¹, 王红磊¹, 王体健²

(1. 南京信息工程大学中国气象局大气物理与大气环境重点开放实验室, 南京 210044; 2. 南京大学大气科学学院, 南京 210093)

摘要: 基于长江三角洲江苏、安徽、浙江和上海地区 2008 年粮食产量的统计年鉴, 结合作物谷草比、排放因子等估算了上述地区 2008 年秸秆焚烧排放污染物清单, 重点完善了各县级市污染物排放。结果表明 2008 年江苏、安徽、浙江和上海地区 SO₂、NO_x、CO、CO₂、PM_{2.5}、BC、OC、NH₃、CH₄、NMVOC 的排放总量分别为 14.28、86.01、1 744.56、36 893.03、517.54、114.63、19.93、89.37 和 208.57 kt。江苏中部和北部、安徽北部地区秸秆露天焚烧污染物排放较多, 而江苏南部和浙江地区污染物排放量较少。将建立的秸秆露天焚烧排放污染物清单应用于 WRF-CMAQ 空气质量模式, 结果表明, 考虑秸秆焚烧排放源后, 对 PM₁₀、CO 等大气污染物的模拟能力大幅提高, 模拟浓度比使用原始排放源分别提高 42% 和 28%, 模拟浓度与实测浓度的相关系数分别提高 0.25 和 0.17, 模拟值较使用原始排放源更加贴近实测值。

关键词: 秸秆露天焚烧; 大气污染物; 排放清单; 空气质量模式

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)05-1418-07

Applications of Pollutants Released from Crop Residues at Open Burning in Yangtze River Delta Region in Air Quality Model

SU Ji-feng¹, ZHU Bin¹, KANG Han-qing¹, WANG Hong-lei¹, WANG Ti-jian²

(1. Key Laboratory for Atmospheric Physics and Environment, China Meteorological Administration, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China; 2. School Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: Based on the data of crop yields in Jiangsu, Anhui, Zhejiang provinces and Shanghai regions in 2008 from government statistics, and the total amount of crop residues, the mass ratio of crop residue to grain and emission factors of crop residue burning, the emission inventory of atmospheric pollutants on counties resolution were constructed over Yangtze River Delta. The results showed the pollutants including SO₂, NO_x, CO, CO₂, PM_{2.5}, BC, OC, NH₃, CH₄ and NMVOC were estimated at 14.28, 86.01, 1 744.56, 36 893.03, 517.54, 114.63, 19.93, 89.37 and 208.57 kt respectively. The high value centers of emission sources were over the central and northern of Jiangsu province and the northern of Anhui provinces, and the emission sources over southern of Jiangsu and the Zhejiang provinces were lower. The emission inventory was used in a Regional Air Quality Modeling System, WRF-CMAQ. In comparison with the old emission inventory, the simulations of PM₁₀, CO with emission of crop residues burning increased by 42% and 28% respectively and correlation coefficients between simulations and observations also increased by 0.25 and 0.17 respectively, which were more close to observations.

Key words: crop residue open burning; atmospheric pollutants; emission inventory; air quality model

我国是一个农业大国, 每年都有大量农作物秸秆产生, 在 20 世纪 70 年代以前农作物秸秆主要作为牲畜饲料和薪柴能源使用, 进入 80 年代以后由于生活水平的提高和生活方式的改变, 农作物秸秆利用率各地区差异很大, 未被合理利用的秸秆很大一部份被露天焚烧^[1]。生物质燃烧排放及二次形成的污染气体、气溶胶颗粒物对区域和局地空气质量、大气化学过程乃至气候变化都会产生重要的影响^[2-5]。

长江三角洲地区是霾的多发区^[6], 其中由于秸秆焚烧引起的霾天气和空气污染事件占有重要比例, 具有季节高发性。因此, 秸秆焚烧使得长三角城市群本身就不容乐观的空气质量形势越来越严峻。

目前国内外对秸秆焚烧影响长江三角洲地区空气质量的研究越来越多, 朱彬^[7]、孙燕^[8]等对 2008 年秸秆焚烧影响南京周边地区一次空气污染事件进行了多角度分析。尹聪等^[9]利用卫星遥感的火点和云覆盖信息, 结合气团后向轨迹, 对秸秆焚烧影响南京空气质量的成因进行了探讨。对此方面的模式研究很

收稿日期: 2011-07-16; 修订日期: 2011-09-07

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2009CB426313); 公益性行业(气象)科研专项(GYHY200806001-1-1); 教育部博士点基金项目(20093228110003); 江苏省高校“青蓝工程”项目; 江苏高校优势学科建设工程项目

作者简介: 苏继峰(1985~), 硕士, 主要研究方向为大气物理学与大气环境, E-mail: suacan@126.com

* 通讯联系人, E-mail: binzhu@nuist.edu.cn

少,而进行数值模拟最重要的方面就是建立排放源清单,在 Streets 2001 年的排放源中,由于缺乏对我国广大农村及偏远居民的生活条件和生活习惯的了解,在生物质燃烧估算过程中并没有考虑秸秆露天焚烧现象^[10,11]. 因此在进行数值模拟时秸秆焚烧排放污染物清单的制作就显得尤为重要. 本研究根据江苏、安徽、浙江和上海地区 2009 年统计年鉴,结合粮食产量和谷草比、排放因子等研究成果,建立 2008 年上述地区秸秆焚烧污染物排放清单,分析了污染物的地区分布特征. 在国内首次将秸秆露天焚烧的排放源用于空气质量模式,以期在城市空气质量数值模拟提供一定理论基础.

1 材料与方方法

2008 年江苏、安徽、浙江和上海地区粮食和经济作物的产量来源于各地区 2009 年统计年鉴,结合谷草比,得到 2008 年各县市秸秆干物质产量. 利用王书肖^[12]、曹国良^[13]等的统计方法,计算江苏、安徽、浙江和上海地区各县市污染物排放清单. 计算公式为:

$$Q_m = \sum (P_{m,i} \times N_i \times B_m \times F \times EF_i)$$

式中, m 为某区域; i 为作物类型; Q_m 为第 m 区域的污染物排放量; $P_{m,i}$ 为 m 区域第 i 种作物的产量; N_i 为第 i 种作物的秸秆量与作物产量之比; B_m 为第 m 区域的秸秆露天焚烧的比例; F 为露天排放效率; EF_i 为第 i 种作物的污染物排放因子.

(1) 农作物产量的计算:对江苏、安徽、浙江和上海地区的基础数据进行统计计算,分农作物产品种类、产量,对上述地区按照 Lambert 投影划分为 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 的网格,排除太湖和洪泽湖等大型湖泊后,将以上数据分配到相应的网格内.

(2) 谷草比的确定:结合王书肖^[12]和曹国良^[13]等的计算结果,见表 1.

(3) 露天焚烧比例的确定:安徽、浙江和上海地区没有详细的利用率清单,按照文献^[12,13]的计算结果来计算;而江苏地区的露天焚烧比例按照未被利用的 50% 来计算,即用 1 减去利用率再乘以

50%,见表 2(利用率来源于文献^[14]). 从表 2 中可以看出,扬州地区露天焚烧比例最大,为 29.5%,其次是苏北部分地区,而以苏州为代表的苏南地区比例最小.

表 1 各种作物秸秆干物质与作物产量的比值

作物	谷草比	作物	谷草比
稻谷	1	棉花	3
小麦	1	麻类	0.5
玉米	2	糖类	0.1
豆类	1.5	油料作物	2
薯类	1	其他作物	1

表 2 江苏省各地区露天焚烧比例

地区	露天焚烧比例/%	地区	露天焚烧比例/%
南京	16.5	扬州	29.5
无锡	14.5	泰州	23
苏州	11	盐城	22
常州	19.5	淮安	19.5
镇江	19.5	宿迁	18
南通	22.5	连云港	22
徐州	17.5		

(4) 秸秆露天焚烧燃烧效率和排放因子:秸秆燃烧效率跟燃烧方式有很大关系,Koppmann 等^[15]认为,植物秸秆的燃烧分 3 个阶段:引燃,明火燃烧,和阴燃. 完全燃烧产生 CO_2 和水汽,非完全燃烧产生 CO 和大量的有机物. 燃烧效率是指燃烧过程中以二氧化碳形式排放的碳元素和农作物秸秆中总碳量的比值. 其值大小不仅可以反映农作物秸秆中的碳元素的氧化程度,还可以反映整个燃烧过程是否为充分燃烧过程. Streets 等^[16]结合 IPCC1997 年报告^[17]和 Lavoue 等的^[18]研究内容和方法,认为亚洲热带地区的植物燃烧效率热带地区为 0.85,热带以外地区为 0.9. 而 De Zárate 等^[19]通过对 32 个样本进行实地测量所得到的平均燃烧效率是 80%,本研究的燃烧效率也取为 80%. 由于排放因子是根据当地具体状况计算得到的,与我国实际情况有所出入,因此本研究主要综合本国研究学者的实测数据和结果,确定秸秆露天燃烧污染物排放因子,如表 3.

表 3 秸秆露天燃烧排放因子/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$

污染物	SO_2	NO_x	NM VOC	CO	BC	OC	NH_3	CO_2	CH_4	$\text{PM}_{2.5}$
排放	0.56 ^[19]	2.5 ^[20]	15.7 ^[20]	92 ^[20]	0.69 ^[20]	3.3 ^[20]	0.78 ^[20]	1445 ^[18]	1.68 ^[21]	20.27 ^[23]
因子	0.4 ^[20]			56.4 ^[21]		4.49 ^[22]	1.3 ^[22]	1515 ^[20]	3.5 ^[22]	

2 结果与讨论

2.1 2008 年江苏、安徽、浙江和上海地区秸秆露天

焚烧排放清单

根据 2009 年统计年鉴得出各农作物粮食产量,结合谷草比、排放因子、露天焚烧比例和燃烧效率计

算得到 2008 年江苏、安徽、浙江和上海各地区秸秆露天焚烧排放的各类污染物的排放总量(表 4)。上述地区 2008 年主要秸秆露天焚烧排放污染物 SO₂、NO_x、CO、CO₂、PM_{2.5}、BC、OC、NH₃、CH₄、NMVOC 总量分别为 14.28、86.01、1744.56、36893.03、517.54、11.74、114.63、19.93、89.37、208.57 kt。受农作物种植面积、产量和秸秆露天焚烧比例的影响,江苏、安徽、浙江和上海地区各地秸

秆焚烧量差距较大。由表 4 各种污染物的排放量可以看出,江苏省所属地区中,盐城排放量最大,PM_{2.5} 排放量为 41.05 kt·a⁻¹, 占全省排放量的 18.6%。苏中苏北地区的 PM_{2.5} 排放量占全省排放量的 85.4%, 苏南地区的 PM_{2.5} 排放量较小。安徽省所属地区中阜阳排放 PM_{2.5} 总量最大,为 33.86 kt·a⁻¹, 占全省排放总量的 14.6%。而浙江全省的污染物排放均较小。

表 4 江苏、安徽、浙江和上海地区秸秆露天焚烧污染物排放清单/kt·a⁻¹

Table 4 City inventory of pollutants from biomass burning of Jiangsu, Anhui, Zhejiang and Shanghai regions/kt·a⁻¹

地区	SO ₂	NO _x	CO	CO ₂	PM _{2.5}	BC	OC	NH ₃	CH ₄	NMVOC
徐州	0.71	4.27	86.52	1 829.59	25.66	0.58	5.69	0.99	4.43	10.34
连云港	0.52	3.13	63.51	1 343	18.84	0.43	4.17	0.72	3.25	7.59
宿迁	0.58	3.5	70.92	1 499.83	21.04	0.48	4.66	0.81	3.63	8.48
淮安	0.68	4.12	83.57	1 767.22	24.79	0.56	5.49	0.95	4.28	9.99
盐城	1.13	6.82	138.38	2 926.32	41.05	0.93	9.09	1.58	7.09	16.55
泰州	0.49	2.95	59.89	1 266.61	17.77	0.4	3.94	0.68	3.07	7.16
扬州	0.42	2.55	51.75	1 094.4	15.35	0.35	3.4	0.59	2.65	6.19
南通	0.66	3.96	80.39	1 700.06	23.85	0.54	5.28	0.92	4.12	9.61
苏州	0.18	1.08	21.99	464.97	6.52	0.15	1.44	0.25	1.13	2.63
无锡	0.12	0.73	14.75	311.91	4.38	0.1	0.97	0.17	0.76	1.76
常州	0.18	1.11	22.41	474	6.65	0.15	1.47	0.26	1.15	2.68
镇江	0.19	1.14	23.02	486.91	6.83	0.16	1.51	0.26	1.18	2.75
南京	0.21	1.28	26.02	550.34	7.72	0.18	1.71	0.3	1.33	3.11
宣城	0.18	1.11	22.41	473.91	6.65	0.15	1.47	0.26	1.15	2.68
铜陵	0.03	0.18	3.74	79.11	1.11	0.03	0.25	0.04	0.19	0.45
宿州	0.76	4.56	92.55	1 957.22	27.46	0.62	6.08	1.06	4.74	11.07
马鞍山	0.08	0.48	9.76	206.44	2.9	0.07	0.64	0.11	0.5	1.17
六安	0.64	3.84	77.87	1 646.66	23.1	0.52	5.12	0.89	3.99	9.31
黄山	0.06	0.37	7.55	159.71	2.24	0.05	0.5	0.09	0.39	0.9
淮南	0.2	1.21	24.5	518.16	7.27	0.16	1.61	0.28	1.26	2.93
淮北	0.21	1.25	25.44	538.08	7.55	0.17	1.67	0.29	1.3	3.04
合肥	0.28	1.71	34.77	735.24	10.31	0.23	2.28	0.4	1.78	4.16
亳州	0.76	4.6	93.2	1 971.01	27.65	0.63	6.12	1.06	4.77	11.14
阜阳	0.94	5.63	114.14	2 413.67	33.86	0.77	7.5	1.3	5.85	13.65
滁州	0.67	4.04	81.91	1 732.16	24.3	0.55	5.38	0.94	4.2	9.79
池州	0.1	0.59	12.03	254.31	3.57	0.08	0.79	0.14	0.62	1.44
巢湖	0.45	2.69	54.58	1 154.23	16.19	0.37	3.59	0.62	2.8	6.53
蚌埠	0.44	2.67	54.15	1 145.11	16.06	0.36	3.56	0.62	2.77	6.47
安庆	0.49	2.92	59.19	1 251.8	17.56	0.4	3.89	0.68	3.03	7.08
芜湖	0.13	0.79	16.09	340.37	4.77	0.11	1.06	0.18	0.82	1.92
湖州	0.15	0.91	18.51	391.47	5.49	0.12	1.22	0.21	0.95	2.21
嘉兴	0.23	1.36	27.67	585.09	8.21	0.19	1.82	0.32	1.42	3.31
杭州	0.2	1.2	24.27	513.18	7.2	0.16	1.59	0.28	1.24	2.9
绍兴	0.19	1.14	23.02	486.8	6.83	0.15	1.51	0.26	1.18	2.75
宁波	0.14	0.83	16.89	357.1	5.01	0.11	1.11	0.19	0.86	2.02
舟山	0.01	0.05	0.92	19.53	0.27	0.01	0.06	0.01	0.05	0.11
金华	0.15	0.93	18.86	398.86	5.6	0.13	1.24	0.22	0.97	2.26
衢州	0.12	0.73	14.74	311.63	4.37	0.1	0.97	0.17	0.75	1.76
台州	0.15	0.9	18.25	385.93	5.41	0.12	1.2	0.21	0.93	2.18
丽水	0.1	0.57	11.65	246.41	3.46	0.08	0.77	0.13	0.6	1.39
温州	0.13	0.79	16.01	338.63	4.75	0.11	1.05	0.18	0.82	1.91
上海	0.22	1.32	26.77	566.05	7.94	0.18	1.76	0.31	1.37	3.2
总量	14.28	86.01	1 744.56	36 893.03	517.54	11.74	114.63	19.93	89.37	208.57

2.2 排放空间分布

使用 ARCGIS 把江苏、安徽、浙江和上海地区按照 Lambert 投影划分为 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 的网格, 将秸秆焚烧排放的污染物分配到上述地区. 图 1 为上述地区 2008 年秸秆焚烧 $PM_{2.5}$ 排放量网格分布图. 从中可见, 江苏和安徽地区秸秆焚烧 $PM_{2.5}$ 排放有几个明显的高值区. 江苏省内扬州地区单位网格污染物排放量最大, 其次是盐城地区. 安徽省内宿州和阜阳单位网格的排放量最大. 而浙江地区单位网格的排放量均较小.

2.3 与其他排放清单的比较及不确定性分析

从表 5 可以看出, 除 NH_3 以外, 2008 年绝大多数污染物排放量的计算都比文献 [12, 24] 的研究结果稍偏大, 各污染物的偏差在 3% ~ 55% 之间, 这些研究的结果有一个明显的递增趋势. 这跟我国 2003 年以来粮食产量逐年递增有着非常密切的关系 [25]. 我国粮食产量的逐年递增导致了秸秆干物质的增加, 进而导致了秸秆露天焚烧排放污染物的逐年增加.

表 5 江苏、安徽、浙江和上海地区不同排放清单的比较 $\times 10^4/t \cdot a^{-1}$

项目	SO ₂	NO _x	CO	CO ₂	PM _{2.5}	BC	OC	NH ₃	CH ₄	NMVOC
本研究	1.43	8.6	174.46	3 689.30	51.75	1.17	11.46	1.99	8.94	21.09
王书肖等 [12]	1.24	7.37	149.6	3 162.8	44.3	1.01	9.82	1.71	7.66	17.88
曹国良等 [24]	0.65	4.1	121.57	2 485.16	—	1.13	5.4	2.14	3.59	25.72

我国秸秆大致有以下 4 种用途: ①作为工业原料; ②作为畜牧饲料; ③造肥还田; ④农村生活能源, 其中牲畜饲料和农村生活用能仍是秸秆利用的最主要方面, 分别占到秸秆总产出量的 31% 和 45% [26]. 2000 年秸秆燃烧占农村生活用能总量的 33.4%, 2009 年占农村生活用能总量的 30.79%. 2000 年农村饲料占农林牧渔业中间消耗的 37.99%, 占物质消耗 41.15%; 2008 年占农林牧渔业中间消耗的 39.76%, 占物质消耗 46.8%. 2000 年年底的牲畜共有 15 151.5 万头, 2008 年为 12 250.7 万头 [27]. 因此可推测秸秆用于畜牧饲料的量是逐年减少的. 2000 年我国农村化肥施用量为 4 146.4 万 t, 农作物的总播种面积为 $156 300 \times 10^3$ km²; 2008 年化肥施用量达到了 5 239 万 t, 增长了 26.35%, 而农作物总播种面积为 $156 266 \times 10^3$ km², 减少了 34×10^3 km². 因此可推测秸秆用于造肥还田的量也是逐年减少的 [28]. 由以上资料我们可以推断出随着居民的生活水平的提高和耕作方式的改变, 秸秆的利用率呈下降的趋势, 长江三角洲地区是

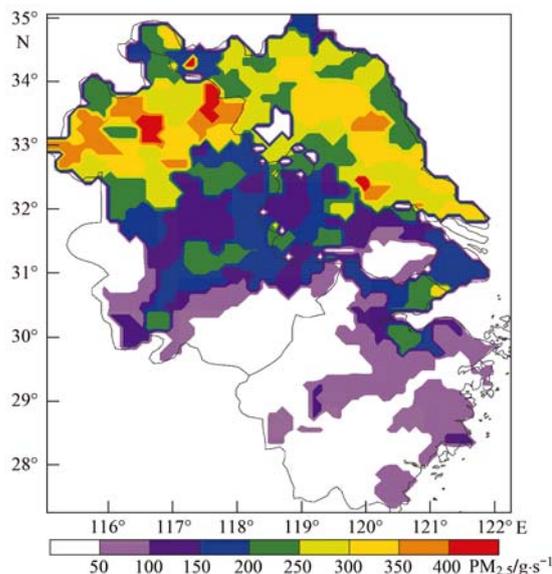


图 1 2008 年江苏、安徽、浙江和上海地区 2008 年秸秆露天焚烧 $PM_{2.5}$ 排放量空间分布图 ($t/\text{网格}$)

Fig. 1 Spatial distribution of $PM_{2.5}$ emission from open crop burning of Jiangsu, Anhui, Zhejiang and Shanghai regions in 2008

我国经济发展十分迅速的地区, 该地区秸秆的利用率比全国的秸秆利用率低, 因此在长三角地区有更多的秸秆被露天焚烧.

3 排放源应用于空气质量模式的检验

从上述分析结果可知, 秸秆露天焚烧能够排放大量气体或颗粒污染物, 在使用空气质量模式对大气中各种污染物进行数值模拟时, 若不考虑秸秆露天焚烧的排放, 就会对模拟结果产生重要影响. 因此, 本研究选取 2008 年 10 月 28、29 日秸秆露天焚烧导致南京周边地区一次严重空气污染过程的典型案例 [6], 在有火点出现的 26、27、28 日加入制作的秸秆排放源, 检验秸秆排放源对空气质量模式进行数值模拟时的影响.

3.1 WRF 和 CMAQ 模式参数设置

(1) 网格设置 采用两重嵌套网格, 投影方式为 Lambert 投影, 第一重嵌套网格中心经纬度为 $32.0^\circ N$, $118.7^\circ E$, 网格数为 106×106 , 网格格距为 27 km; 第二重嵌套网格数为 120×120 , 网格格距为

9 km.

(2)物理过程 水平和垂直对流采用 YAMO 机制,垂直扩散采用 MULTISCALE 机制,考虑干、湿沉降过程.

(3)化学过程 采用 2005 年新开发的 CB-05 机制,该机制同时考虑了液相化学过程和气溶胶化学过程.

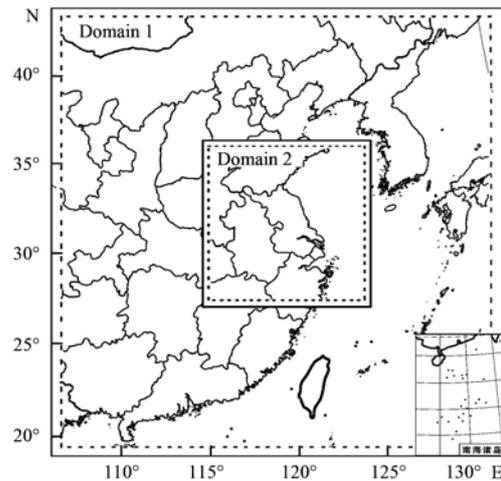
(4)气象场输入 WRF 模式为 CMAQ 模式提供气象场和地形资料,并通过 MCIP 模块进行气象资料的选取和重新计算,包括高度和气象场、风场、温度场、水气场、云量、降水及垂直扩散系数等. WRF 模式同样为两重嵌套,中心经纬度、格距同 CMAQ 设置,第一重嵌套网格数为 117 × 117,第二重嵌套网格数为 145 × 145,垂直方向为 28 层,模式顶高 50 hPa. 采用 NCEP 1° × 1°再分析资料作为气象背景场和边界条件; 陆面过程采用 Noah 方案,边界层方案采用 YSU 方案,积云参数化方案为浅对流 Kain-Fritsch(new Eta)方案,辐射方案采用 RRTM 长波和云短波辐射(Dudhia)方案.

(5)初始条件和边界条件 CMAQ 模式第一重区域的边界条件为 GEOS-CHEM 全球模式在模拟区域当月平均值做成的 Profile 文件,模式第二重区域的初始和边界条件,均来自第一重区域模拟的浓度场.

3.2 试验方案设计

(1)模拟区域如图 2 所示,采用两重嵌套,其中外框(实线)为气象模式 WRF 的模拟范围,内框(虚线)为空气质量模式 CMAQ 的模拟范围.

(2)控制试验 采用更新的 Streets 2001 年东亚地区原始排放源,模拟 2008 年 10 月 28、29 日污染过程中秸秆露天焚烧排放的 PM₁₀和 CO 这 2 种典型



实线为 WRF 模式的模拟范围,虚线为 CMAQ 模式的模拟范围

图 2 WRF 和 CMAQ 模式的模拟区域

Fig. 2 Simulation areas of WRF and CMAQ model

污染物.

(3)敏感试验 在 Streets 2001 年排放清单基础上,在有秸秆露天焚烧的 2008 年 10 月 26 ~ 28 日时间段内加入秸秆露天焚烧排放污染物清单,模拟 2008 年 10 月 28、29 日污染过程中秸秆露天焚烧排放的 PM₁₀和 CO 这 2 种典型污染物.

(4)观测资料 PM₁₀和 CO 数据来源于南京大学浦口校区观测所得.

3.3 试验结果分析

考虑到只有南京有实测观测资料,因此对南京地区利用原始排放源和加入秸秆源进行模拟计算并与实测浓度进行对比(图 3). 在未加入秸秆排放源的情况下,PM₁₀的浓度极值只能达到 170 μg·m⁻³,加入秸秆排放源后模拟出的南京地区 PM₁₀浓度比使用原始排放源平均提高了 42%,且变化趋势更加贴近于实测值. CO 的浓度也平均增加了 28%左右,

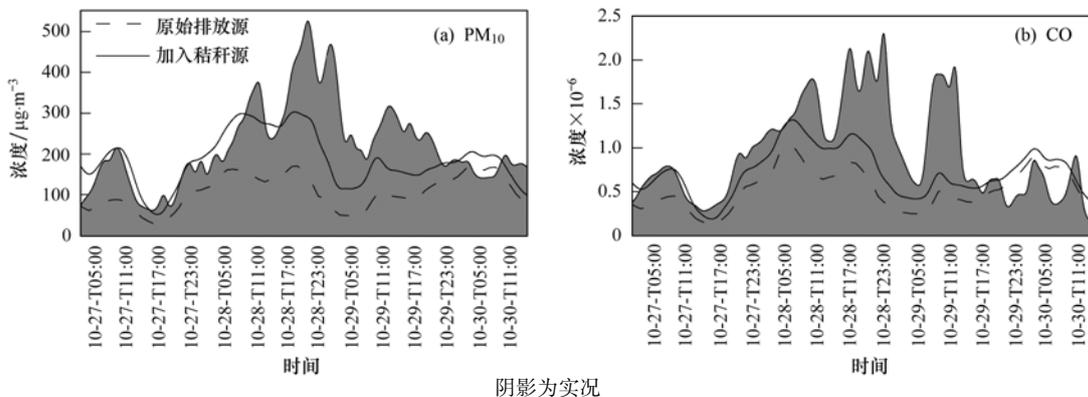


图 3 采用原始排放源和加入秸秆源的新排放源时,WRF-CMAQ 模拟的 2008 年 10 月 27 ~ 30 日南京地区浓度与实测值对比

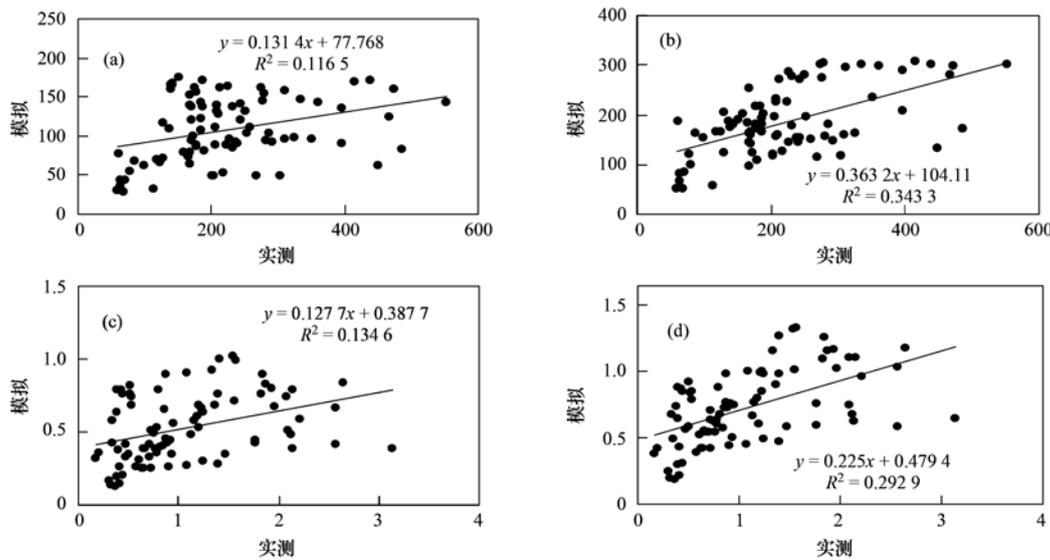
Fig. 3 Comparison between simulation concentration of PM₁₀, CO by WRF-CMAQ model and observation

value in Nanjing from Oct 27 to 30, 2008 using the original emissions and the emissions with crop residue emissions

除 28 日后半夜和 29 日中午的极值没有模拟出来外,趋势跟实测也较为接近. 加入秸秆排放源后模拟值跟实测值相比仍有差距,这是因为本研究采用的是统计的方法对三省一市的秸秆露天焚烧排放污染物平均分布,未考虑秸秆露天焚烧地点的随机性,导致排放源源强的不集中所致.

图 4 可以看出,加入秸秆排放源后模式的模拟浓度与实测浓度有了较为明显的提高,与原始排放

源模拟结果相比,PM₁₀、CO 的模拟浓度与实测浓度的相关系数分别提高了 0.25 和 0.17. 加入秸秆排放源后 PM₁₀ 和 CO 的模拟浓度与实测浓度的相关系数分别为 0.59 和 0.54,都达到了显著性相关的水平. 可见采用秸秆排放源后 WRF-CMAQ 的模拟效果得到了改进,且 PM₁₀ 的模拟效果改进程度优于 CO. 这是因为跟人为排放源相比,秸秆排放源中 PM₁₀ 占总排放源的比重要大于 CO.



(a) 采用原始排放源时 PM₁₀ 的模拟结果; (b) 采用加入秸秆源时 PM₁₀ 的模拟结果;

(c) 采用原始排放源时 CO 的模拟结果; (d) 采用加入秸秆源时 CO 的模拟结果

图 4 分别采用加入秸秆排放源和原始排放源, WRF-CMAQ 模拟的 2008 年 10 月 27 ~ 30 日 PM₁₀、CO 与实测浓度的相关分析

Fig. 4 Correlation between simulation concentration of PM₁₀, CO by WRF-CMAQ model and

observation value from Oct 27 to 30, 2008 using the original emissions and the emissions with crop residue emissions

4 结论

(1) 根据 2009 年江苏、安徽、浙江和上海地区统计年鉴,结合粮食产量、谷草比、排放因子等估算了上述地区 2008 年秸秆焚烧排放污染物清单,重点完善了各县级市污染物排放. 结果表明 2008 年江苏、安徽、浙江和上海地区 SO₂、NO_x、CO、CO₂、PM_{2.5}、BC、OC、NH₃、CH₄、NMVOC 的排放总量分别为 14.28、86.01、1744.56、36893.03、517.54、11.74、114.63、19.93、89.37、208.57 kt.

(2) 江苏中部和北部、安徽北部地区秸秆露天焚烧污染物排放较多,而江苏南部和浙江地区污染物排放量较少.

(3) 江苏省内,扬州地区单位网格污染物排放量最大,其次是盐城地区;安徽省内宿州和阜阳地区单位网格的排放量最大;而浙江地区单位网格的排放量均较小.

(4) 模式对于污染物实况高浓度的模拟还有待提高,但是使用带有秸秆排放源的新排放源比原始排放源模拟的污染物浓度更能贴近实测浓度,2008 年 10 月个例中 PM₁₀ 浓度增加了 42%,CO 浓度增加了 28%,模拟的峰值与观测峰值较为一致,都出现在 2008 年 10 月 28 日后半夜.

参考文献:

- [1] 陈新峰. 对我国农村焚烧秸秆污染及其治理的经济学分析——兼论农业现代化过程中农业生产要素的工业替代[J]. 中国农村经济, 2001, (2): 47-52.
- [2] Crutzen P J, Andreae M O. Biomass burning in the tropics: impact on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles[J]. Science, 1990, 250(4988): 1669-1678.
- [3] Langmann B, Duncan B, Textor C, et al. Vegetation fire emissions and their impact on air pollution and climate[J]. Atmospheric Environment, 2009, 43(1): 107-116.
- [4] 李令军, 王英, 李金香. 北京清洁区大气颗粒物污染特征及长期变化趋势[J]. 环境科学, 2011, 32(2): 319-323.
- [5] 霍铭群, 孙倩, 谢鹏, 等. 大气颗粒物和降水化学特征的相

- 互关系[J]. 环境科学, 2009, **30**(11): 3160-3166.
- [6] 童尧青, 银燕, 钱凌, 等. 南京地区霾天气特征分析[J]. 中国环境科学, 2007, **27**(5): 584-588.
- [7] 朱彬, 苏继峰, 韩志伟, 等. 秸秆焚烧导致南京及周边地区一次严重空气污染过程的分析[J]. 中国环境科学, 2010, **30**(5): 585-592.
- [8] 孙燕, 张备, 严文莲, 等. 南京及周边地区一次严重烟霾天气的分析[J]. 高原气象, 2010, **29**(3): 794-800.
- [9] 尹聪, 朱彬, 曹云昌, 等. 秸秆焚烧影响南京空气质量的成因探讨[J]. 中国环境科学, 2011, **31**(2): 207-213.
- [10] 曹国良, 张小曳, 王丹, 等. 中国大陆生物质燃烧排放的污染物清单[J]. 中国环境科学, 2005, **25**(4): 389-393.
- [11] Streets D G, Yarber K F, Woo J H, *et al.* Biomass burning in Asia: Annual and seasonal estimates and atmospheric emissions [J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2003, **17**(4): 1009-1-20.
- [12] 王书肖, 张楚莹. 中国秸秆露天焚烧大气污染物排放时空分布[J]. 中国科技在线, 2008, **3**(5): 329-333.
- [13] 曹国良, 张小曳, 王亚强, 等. 中国区域农田秸秆露天焚烧排放量的估算[J]. 科学通报, 2007, **52**(15): 1826-1831.
- [14] 江苏省发展和改革委员会, 江苏省农业委员会. 江苏省秸秆综合利用规划 [EB/OL]. <http://www.jsdpc.gov.cn/pub/jsdpc/>
- [15] Koppmann R, Von Czapiewski K, Reid J S. A review of biomass burning emissions, part I: gaseous emissions of carbon monoxide, methane, volatile organic compounds, and nitrogen containing compounds [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussion*, 2005, **5**(5): 10455-10516.
- [16] Streets D G, Yarber K F, Woo J H, *et al.* Biomass burning in Asia: Annual and seasonal estimates and atmospheric emissions [J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2003, **17**(4): 1009, doi: 10.1029/2002.3GB002040.
- [17] IPCC. Greenhouse Gas Inventory Workbook: Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories [M]. New York: Cambridge University Press, 1997.
- [18] Lavoué D, Lioussé C, Cachier H, *et al.* Modeling of carbonaceous particles emitted by boreal and temperate wildfires at northern latitudes [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2000, **105**(D22): 26871-26890.
- [19] De Zárate I O, Ezurra A, Lacaux J P, *et al.* Pollution by cereal waste burning in Spain [J]. *Atmospheric Research*, 2005, **73**(1-2): 161-170.
- [20] Street D G, Bond T C, Carmichael G R, *et al.* An inventory of gaseous and primary aerosol emissions in Asia in the Year 2000 [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2003, **108**(D21): 8809, doi:10.1029/2002JD003093.
- [21] AP-42-2-4, U. S EPA [EB/OL]. <http://www.epa.gov/ttn/chieff/ap42/index.html>.
- [22] Dennis A, Fraser M, Anderson S, *et al.* Air pollutant emissions associated with forest, grassland, and agricultural burning in Texas [J]. *Atmospheric Environment*, 2002, **36**(23): 3779-3792.
- [23] 祝斌, 朱先磊, 张元勋, 等. 农作物秸秆燃烧PM_{2.5}排放因子的研究[J]. 环境科学研究, 2005, **18**(2): 29-33.
- [24] 曹国良, 张小曳, 王丹, 等. 秸秆露天焚烧排放的TSP等污染物清单[J]. 农业环境科学学报, 2005, **24**(4): 800-804.
- [25] 孙东升, 梁仕莹. 我国粮食产量预测的时间序列模型与应用研究[J]. 农业技术经济, 2010, (3): 97-106.
- [26] 韩鲁佳, 闫巧娟, 刘向阳, 等. 中国农作物秸秆资源及其利用现状[J]. 农业工程学报, 2002, **18**(3): 87-91.
- [27] 国家统计局农村社会经济调查司. 2009年中国农村统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2009.
- [28] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴2000~2008 [EB/OL]. <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/>.

CONTENTS

Using Look-up Table Method in the Simulation of Regional Atmospheric Environment	XIE Min, WANG Ti-jian, JIANG Fei, <i>et al.</i> (1409)
Applications of Pollutants Released from Crop Residues at Open Burning in Yangtze River Delta Region in Air Quality Model	SU Ji-feng, ZHU Bin, KANG Han-qing, <i>et al.</i> (1418)
Atmospheric Dry Deposition Flux and Sources of Monocarboxylic Acids in Beijing and Surrounding Cities	XU Xiao-juan, LI Xing-ru, WANG Yue-si, <i>et al.</i> (1425)
Comparison of Physicochemical Characterization of Shanghai Ambient Ultrafine Particles and Engineered Nano Particles and Their Cytotoxicity	ZHANG Rui, LÜ Sen-lin, SHANG Yu, <i>et al.</i> (1431)
Element Compositions and Source of PM _{2.5} Aerosols in Qingdao	LI Xiu-zhen, SHENG Li-fang, XU Hua, <i>et al.</i> (1438)
Phthalate Esters Pollution in Household Indoor Air Particles of Tianjin in Winter	WANG Fu-mei, CHEN Li, JIAO Jiao, <i>et al.</i> (1446)
Application of a Resuspension Test Chamber in PM _{2.5} Source Profile Analysis	DUAN Heng-yi, QIAN Ran-ran, WU Shui-ping, <i>et al.</i> (1452)
Distribution and Enrichment of Trace Elements in Coal Combustion Products from Southwestern Guizhou	WEI Xiao-fei, ZHANG Guo-ping, LI Ling, <i>et al.</i> (1457)
Air-Water Surface Greenhouse Gas Flux in Pengxi River at Different Operational Stages of the Three Gorges Reservoir	JIANG Tao, GUO Jing-song, LI Zhe, <i>et al.</i> (1463)
Fluxes of Greenhouse Gases from Xiangxi River in Summer and Their Influencing Factors	WANG Liang, XIAO Shang-bin, LIU De-fu, <i>et al.</i> (1471)
Effects of Elevated Ozone Concentration and Soil Moisture on Temperature Sensitivity of Soil Microbial Respiration in a Cropland	CHEN Shu-tao, ZHANG Yong, HU Zheng-hua, <i>et al.</i> (1476)
Hydrochemical Characteristics in the Glacier No. 72 of Qingbingtan, Tomur Peak	ZHAO Ai-fang, ZHANG Ming-jun, LI Zhong-qin, <i>et al.</i> (1484)
Mineralization Characteristics of Dissolved Organic Phosphorous in Wudalianchi Lake, China	ZHANG Bin, XI Bei-dou, ZHAO Yue, <i>et al.</i> (1491)
Speciation Distribution of Nitrogen in Sediments of 7 Rivers around Taihu Lake	LU Shao-yong, YUAN Ye, JIN Xiang-can, <i>et al.</i> (1497)
Distribution and Bioavailability of Nitrogen and Phosphorus Species in the Sediments from Shiwuli Stream in Lake Chaohu	LI Ru-zhong, LI Feng, ZHOU Ai-jia, <i>et al.</i> (1503)
Surface Water Quality of Beiyun Rivers Basin and the Analysis of Acting Factors for the Recent Ten Years	GUO Jing, JING Hong-wei, LI Jin-xiang, <i>et al.</i> (1511)
Water Quality Impact of Dongjiang River Network Caused by Dongguan Canal Drainage	SUN Lei, MAO Xian-zhong, HUANG Min-min (1519)
Groundwater Pollution Sources Identification and Grading in Beijing Plain	LU Yan, HE Jiang-tao, WANG Jun-jie, <i>et al.</i> (1526)
3D Numerical Simulation of Air Sparging Remediation Process	LI Heng-zhen, HU Li-ming, WANG Jian, <i>et al.</i> (1532)
Numerical Experiment Study on the Algae Suppression Effect of Vertical Hydrodynamic Mixers	ZOU Rui, ZHOU Jing, SUN Yong-jian, <i>et al.</i> (1540)
Microbial Mechanism of Pollutants Removal in New Biological Island Grid	GAO Ming-yu, XIE Hui-jun, WANG Wen-xing (1550)
Effect of Nutrition Level of Phosphorus and Nitrogen on the Metabolism of the Extracellular Organic Matter of <i>Nostoc flagelliforme</i>	QI Fei, LIU Xiao-yuan, XU Bing-bing, <i>et al.</i> (1556)
Inhibitory Effects of Liquor Cultured with <i>Hydrodictyon reticulatum</i> on the Growth of <i>Microcystis aeruginosa</i>	FU Hai-yan, CHAI Tian, ZHAO Kun, <i>et al.</i> (1564)
Removal and Distribution of Phthalate Acid Esters in <i>Potamogeton crispus</i> L. Microcosm of Haihe River	CHI Jie, YANG Qing (1570)
Control and Removal of Microcystin Production of <i>Microcystis aeruginosa</i> by Irradiation of Electron Beam	LIU Shu-yu, WU Ming-hong, JIANG Qin-peng (1575)
Source Characteristics Analysis of Discharge and Pollutants in Typical Drainage Ditch of Qingtongxia Irrigation District	LI Qiang-kun, HU Ya-wei, LUO Liang-guo (1579)
Degradation of TBBPA by Electron Beam Radiolysis	LI Jie, XU Dian-dou, XU Gang, <i>et al.</i> (1587)
Catalytic Ozonation of Ibuprofen in Aqueous Solution by Activated Carbon Made from Sludge and Corn Cob	WANG Hong-juan, QI Fei, FENG Li, <i>et al.</i> (1591)
Effect of High Hydraulic Loading on Intensive Shrimp Aquaculture Wastewater Treatment Performance in Constructed Wetland	LI Huai-zheng, ZHANG Xing-yi, CHEN Wei-bing, <i>et al.</i> (1597)
Factors Influencing the Formation of NDMA During Chloramination Disinfection of Effluent from Biological Nitrogen Removal System for the Treatment of Municipal Sewage	SHANG Xiao-ling, LI Yong-mei (1604)
Denitrification Using Starch/PCL Blends as Solid Carbon Source	SHEN Zhi-qiang, WU Wei-zhong, YANG Chun-ping, <i>et al.</i> (1609)
Profiles of Zeta Potential and EPS in Granulation Process of Aerobic Sludge	WANG Hao-yu, SU Ben-sheng, HUANG Dan, <i>et al.</i> (1614)
Biosorption Characteristics of f2 Bacteriophage onto Activated Sludge	ZHOU Yu-fen, ZHENG Xiang, LEI Yang, <i>et al.</i> (1621)
Adsorption of Anionic Polyacrylamide on the Surface of Ion Exchange Membranes	DENG Meng-jie, YU Shui-li, SHI Wen-xin, <i>et al.</i> (1625)
Adsorption of Amphoteric Modified Bentonites to Phenol and Its Thermodynamics	LI Ting, MENG Zhao-fu, ZHANG Bin (1632)
Effect of Surfactants on Sorption and Desorption of Benzo[a]pyrene onto Black Carbon	ZHANG Jing-huan, CHEN Chun-rong, ZHANG Wei-hang, <i>et al.</i> (1639)
Isolation and Identification of Bacteria in the Activated Sludge from Four Sewage Treatment Plants in Nanjing City and Its Antibiotic Resistance Analysis	GE Feng, GUO Kun, ZHOU Guang-can, <i>et al.</i> (1646)
Screening and Characterization of Phenol Degrading Bacteria for the Coking Wastewater Treatment	CHEN Chun, LI Wen-ying, WU Jing-wen, <i>et al.</i> (1652)
Characteristics of 1,4-Dioxane Degradation by <i>Xanthobacter flavus</i> DTS	JIN Xiao-jun, CHEN Dong-zhi, ZHU Run-ye, <i>et al.</i> (1657)
Spatial Quantitative Distribution of Hydrocarbon-Oxidizing Bacteria of Unexploited Oil and Gas Fields	MAN Peng, QI Hong-yan, HU Qing, <i>et al.</i> (1663)
Screening and Biological Characteristics of Amphitrophic Methane-Oxidizing Bacteria from Aged-Refuse	ZHAO Tian-tao, XIANG Jin-xin, ZHANG Li-jie, <i>et al.</i> (1670)
Distribution Characteristics and Potential Risk of PCBs in Surface Water from 22 Tributaries and Mainstream in Middle Reaches of Yangtze River	LI Kun, ZHAO Gao-feng, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (1676)
Pollution Characteristics and Potential Risks of Phenolic Compounds in Schistosomiasis Epidemic Areas	WU Zheng-yong, ZHAO Gao-feng, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (1682)
Spatial Heterogeneity and Autocorrelation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Sediment of Minjiang River in Fuzhou City	CHEN Wei-feng, NI Jin-zhi, YANG Hong-yu, <i>et al.</i> (1687)
Heavy Metals Pollution and Its Potential Ecological Risk of the Sediments in Three Gorges Reservoir During Its Impounding Period	WANG Jian-kang, GAO Bo, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (1693)
Investigation on the Distribution and Potential Ecological Risk of Heavy Metal in the Sediments from Typical Electrical Industrial Zone	DENG Dai-yong, SUN Guo-ping, GUO Ju, <i>et al.</i> (1700)
Fraction Distribution and Risk Assessment of Heavy Metals in Iron and Gold Mine Soil of Miyun Reservoir Upstream	GAO Yan-xin, FENG Jin-guo, TANG Lei, <i>et al.</i> (1707)
Heavy Metal Contamination and Bioavailability in Huayuan Manganese and Lead/Zinc Mineland, Xiangxi	YANG Sheng-xiang, YUAN Zhi-zhong, LI Zhao-yang, <i>et al.</i> (1718)
Evaluation of Heavy Metal Pollution in Soils from a Training Ground Based on GIS	LIU Yu-tong, FANG Zhen-dong, YANG Qin, <i>et al.</i> (1725)
Effects of Soil Texture and Water Content on Remediation of SVE on Soils Contaminated by Benzene	LIU Shao-qing, JIANG Lin, YAO Yu-jun, <i>et al.</i> (1731)
Characteristics of DNA Adsorption and Desorption in Montmorillonite, Kaoline and Goethite	WANG Shen-yang, RAO Wei, WANG Dai-zhang, <i>et al.</i> (1736)
LNAPL Migration Monitoring in Simulated Sand Aquifer Using Resistivity Method	PAN Yu-ying, JIA Yong-gang, GUO Lei, <i>et al.</i> (1744)
Preparation and Characterization of Activated Carbon from Rice Straw Pre-treated by the Subcritical Hydrolysis	DONG Yu, SHEN Zhe-min, LEI Yang-ming, <i>et al.</i> (1753)
Study on Composting of Cyanobacteria Amended with Different N Loss Inhibitor	REN Yun, CUI Chun-hong, LIU Fen-wu, <i>et al.</i> (1760)
Research Progress About Bioremediation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Contaminated Soil with Immobilized Microorganism Technique	QIAN Lin-bo, YUAN Miao-xin, CHEN Bao-liang (1767)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2012年5月15日 33卷 第5期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 5 May 15, 2012

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行