

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第9期

Vol.35 No.9

2014

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版



目次

长江三角洲地区霾判别方法的对比分析 刘晓慧,朱彬,高晋徽,张恩红,王红磊,陈焯鑫,王姝 (3239)

1980~2012年江苏省城市霾日的时空分布及成因分析 刘端阳,魏建苏,严文莲,吕军,孙燕 (3247)

瓦里关大气二氧化碳和甲烷时间变化特征 刘鹏,张国庆,王剑琼,吴昊,李宝鑫,王宁章 (3256)

上海城区PM_{2.5}中有机碳和元素碳变化特征及来源分析 张懿华,王东方,赵倩彪,崔虎雄,李娟,段玉森,伏晴艳 (3263)

亚青会期间南京市气溶胶中OC和EC的粒径分布 王红磊,朱彬,安俊琳,段卿,邹嘉南,沈利娟 (3271)

无锡市冬季典型天气PM_{2.5}中碳组分的污染特征 云龙龙,陆钊,张天舒,伍德侠,盛世杰,陆亦怀,刘建国 (3280)

高炉炼铁工艺细颗粒物PM_{2.5}排放特性分析 范真真,赵亚丽,赵浩宁,梁兴印,孙静雯,王保贵,王亚军 (3287)

重庆市北碚城区大气中VOCs组成特征研究 祁心,郝庆菊,吉东生,张军科,刘子锐,胡波,王跃思,江长胜 (3293)

双组分VOCs的催化氧化及动力学分析 卜龙利,杨力,孙剑宇,梁欣欣,虎雪姣,孟海龙 (3302)

汽车排放超细颗粒物浓度及粒径谱特征的实验研究 陆叶强,陈秋方,孙在,蔡志良,杨文俊 (3309)

疏勒河上游地表水水化学主离子特征及其控制因素 周嘉欣,丁永建,曾国雄,吴锦奎,秦甲 (3315)

河流库区沉积物-水界面营养盐及气态氮的释放过程和通量 陈朱虹,陈能汪,吴殷琪,莫琼利,周兴鹏,鲁婷,田蕴 (3325)

大辽河感潮段及其近海河口重金属空间分布及污染评价 张雷,秦延文,马迎群,赵艳民,时瑶 (3336)

雅鲁藏布江中段表层沉积物重金属形态分布及风险评价 柏建坤,李潮流,康世昌,陈鹏飞,王建力 (3346)

北京奥林匹克公园地表颗粒物粒度特征分析 李海燕,石安邦,瞿杨晨,岳靖淋 (3352)

黄河表层沉积物中类二噁英多氯联苯水平分布 李光耀,金军,何畅,王英,马召辉,李明园 (3358)

合肥城郊典型源头溪流不同渠道形态的氮磷滞留特征 李如忠,杨继伟,钱靖,董玉红,唐文坤 (3365)

基于水资源调度的平原河网区城市河道氮迁移转化研究 刘波,盛明,朱强,杨霜,檀炳超,范冉,南旭军,何茂阳,王国祥 (3373)

杭州湾潮滩湿地植物不同分解过程及其磷素动态 邵学新,梁新强,吴明,叶小齐,蒋科毅 (3381)

基于数据同化的太湖叶绿素多模型协同反演 李渊,李云梅,吕恒,朱利,吴传庆,杜成功,王帅 (3389)

天然日光辐照下两江交汇处溶解性有机质(DOM)光漂白过程:以涪江-嘉陵江为例 高洁,江韬,闫金龙,魏世强,王定勇,卢松,李璐璐 (3397)

利用紫外-可见吸收光谱估算三峡库区消落带水体、土壤和沉积物溶解性有机质(DOM)浓度 李璐璐,江韬,卢松,闫金龙,高洁,魏世强,王定勇,郭念,赵铮 (3408)

Cu₂O-Ag-AgBr/MA可见光催化剂的制备及其降解2-氯苯酚的研究 王冉,周雪峰,胡学香,胡春 (3417)

不同粒径零价铁活化过硫酸钠氧化降解酸性橙7的影响及动力学研究 李欢旋,王金泉,马邕文,黄明智,王艳,陈杨梅 (3422)

还原脱氯-生物联合降解2,4-二氯苯氧乙酸 周红艺,曾思思,梁思,韩鉴 (3430)

多介质土壤滤层系统(MSL)与潜流式人工湿地技术处理海水养殖废水的效能比较 宋颖,黄玉婷,葛川,张浩,陈昕,张志剑,罗安程 (3436)

不同碳源在污水处理过程中的变化规律研究 金鹏康,常晋,王先宝,刘柯君,王晓昌 (3443)

气升装置对厌氧氨氧化反应器脱氮效能的影响 李祥,张大林,黄勇,陈宗炬,袁怡 (3449)

微波及其组合工艺强化污泥厌氧消化研究 刘吉宝,倪晓棠,魏源送,佟娟,王亚炜 (3455)

“热水解-高温厌氧消化”工艺处理高含固率剩余污泥的中试研究 吴静,王广启,曹知平,李中华,胡玉瑛,王凯军,左剑恶 (3461)

温度对ABR-MBR复合工艺处理生活污水的影响及其微生物群落分析 吴鹏,陆爽君,徐乐中,刘捷,沈耀良 (3466)

污水处理厂尾水细菌群落结构分析 徐爱玲,任杰,宋志文,吴等等,夏岩 (3473)

沼液养殖钝顶螺旋藻的中试研究 国青青,刘锐,罗金飞,王根荣,陈吕军,刘笑 (3480)

内源呼吸过程溶解性代谢产物的光谱特性分析 李志华,张芹,白旭丽,刘毅 (3487)

基于呼吸图谱的自养菌与异养菌内源呼吸过程分析 李志华,白旭丽,张芹,刘毅,贺春博 (3492)

S-异丙甲草胺与镉对斜生栅藻光合作用的影响 陈彩东,胡晓娜,章小强,刘惠君 (3498)

影响浑太河流域鱼类群落结构的不同尺度环境因子分析 李艳利,李艳粉,徐宗学 (3504)

河口区新建河道轮虫群落演替及与水环境的关系 马文华,张玮,顾琬雯,张瑞雷,王丽卿 (3513)

Fontibacter sp. SgZ-2厌氧腐殖质/Fe(III)还原特性及电子传递机制研究 马晨,杨贵芹,陆琴,周顺桂 (3522)

基于UNMIX模型的夹皮沟金矿区土壤重金属源解析 艾建超,王宁,杨净 (3530)

石河子市土壤环境磁学特征及空间分布研究 杨涵,熊黑钢,陈学刚 (3537)

不同施磷量(KH₂PO₄)作用对Cu、Zn在红壤中的迁移转化 郭亮,李忠武,黄斌,王艳,张艳 (3546)

硫素对水稻吸收砷的生物有效性及其在土壤中的形态影响 杨世杰,唐冰培,王代长,饶伟,张亚楠,王丹,朱云集 (3553)

硫对土壤中硒形态变化及油菜硒吸收的影响 刘新伟,段碧辉,夏全杰,矫威,郭再华,胡承孝,赵竹青 (3564)

再生水灌溉对土壤化学性质及可培养微生物的影响 龚雪,王继华,关健飞,杨雪辰,陈黛慈 (3572)

西南喀斯特山区寿竹林地土壤微生物量与酶活性在不同坡位和剖面层次的分布特征 秦华军,何丙辉,赵旋池,李源,毛文韬,曾清平 (3580)

黔中喀斯特石漠化区不同土壤类型对常见植物叶片δ¹³C值的影响 杜雪莲,王世杰,罗绪强 (3587)

碳底物含量对厌氧条件下水稻土N₂、N₂O、NO、CO₂和CH₄排放的影响 陈诺,廖婷婷,王睿,郑循华,胡荣桂, Klaus Butterbach-Bahl (3595)

北京市典型绿化灌木阻滞吸附PM_{2.5}能力研究 梁丹,王彬,王云琦,张会兰,杨松楠,李昂 (3605)

污泥焚烧过程中氯化物对Cd迁移行为的影响 刘敬勇,卓钟旭,孙水裕,罗光前,李晓明,谢武明,王玉洁,杨佐毅,赵素莹 (3612)

京津冀区域生产和消费CO₂排放的时空特点分析 汪浩,陈操操,潘涛,刘春兰,陈龙,孙莉 (3619)

水泥工业大气污染物排放控制水平确立研究 任春,江梅,邹兰,李晓倩,魏玉霞,赵国华,张国宁 (3632)

《环境科学》征稿简则(3279) 《环境科学》征订启事(3545) 信息(3364,3486,3552,3563)

长江三角洲地区霾判别方法的对比分析

刘晓慧^{1,2}, 朱彬^{1*}, 高晋徽¹, 张恩红³, 王红磊¹, 陈焯鑫¹, 王姝⁴

(1. 南京信息工程大学, 中国气象局气溶胶与云降水重点开放实验室, 气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 南京 210044; 2. 河北省气象服务中心, 石家庄 050021; 3. 广东省气象信息中心, 广州 510080; 4. 北京大学大气与海洋科学系, 北京 100871)

摘要: 为对比霾判别方法的差异, 探讨霾观测标准的再完善性, 文中从空间分布与单点时间序列两方面分别分析研究了4种霾判别方法的特征与适用性. 选取中国长江三角洲地区1980~2009年38个地面观测站的气象资料, 根据使用日均值的方法1、2和使用14:00观测值的方法3分别统计各站点的霾日, 分析3种方法的异同. 发现这些方法都能够反映出霾的长期变化趋势, 但存在差异, 这种差异随着年代际变化逐渐减小. 由方法1得到的霾日数最多, 方法3考虑了天气现象, 比方法1和2更合理. 依据南京北郊2012年5月~2013年4月的逐时PM_{2.5}浓度、相对湿度和能见度等资料, 分析比较了方法4(霾的观测和等级预报, QX/T 113-2010)与方法1、2、3的不同. 结果表明, 由方法3统计出的霾日少于其他方法, 由方法4统计出的霾日数介于方法1与方法3的结果; 方法3不能分辨出霾的严重程度, 而其他方法能较好地分辨出霾的严重程度.

关键词: 霾判别方法; 对比; 长江三角洲地区; 能见度; PM_{2.5}

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)09-3239-08 DOI: 10.13227/j.hjkk.2014.09.001

Comparative Analysis Methods of Haze Distinction over Yangtze River Delta Region

LIU Xiao-hui^{1,2}, ZHU Bin¹, GAO Jin-hui¹, ZHANG En-hong³, WANG Hong-lei¹, CHEN Ye-xin¹, WANG Shu⁴

(1. Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Key Laboratory for Aerosol-Cloud-Precipitation of China Meteorological Administration, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China; 2. Hebei Provincial Meteorological Service Center, Shijiazhuang 050021, China; 3. Information Center of Guangdong Province Meteorological Bureau, Guangzhou 510080, China; 4. Department of Atmospheric and Oceanic Science, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: It is crucial to compare the difference and applicability of different haze discrimination methods and its criteria in haze study. Due to the requirement of methods and limitation of data, 4 common methods in two views of regional and temporal in one site are analyzed and studied. Based on the meteorological data from 38 observatories from 1980-2009, haze-day and haze-hour number are both counted for each station, employing Method 1 and 2 (with daily mean observation) and Method 3 (with 14:00 observation). The characteristics and applicability of these three methods are also compared and summarized. Statistical results via these methods are all capable to represent the long-term trend of haze, but haze-day numbers counted via these methods show differences, which become less remarkable with decadal changes. Haze days are the most by using Method 1. Method 3 considering the weather phenomenon is more reasonable than Method 1 and 2. According to the data of visibility, relative humidity and PM_{2.5} concentration in northern Nanjing from May, 2012 to April, 2013, employing 4 haze discrimination methods including the additional one (QX/T 113-2010, i. e. Method 4), haze-day and haze-hour numbers are counted and compared. The result shows that: the haze-day number obtained employing Method 3 is less than others, while the haze-day number obtained employing Method 4 is between those with Method 1 and 3; using all Methods but Method 3 can distinguish the severity of haze significantly.

Key words: haze discrimination methods; comparison; Yangtze River Delta Region; visibility; PM_{2.5}

随着经济的持续高速增长和城市化进程的加快, 区域复合型大气污染加重, 细颗粒物等二次污染物日益增加, 造成严重的雾霾现象. 2013年1月我国中东部地区多次发生持续严重雾霾天气, 引起了社会、政府以及民众的广泛关注. 张小曳等^[1]指出现在的雾和霾已经不是完全的自然现象, 居高不下的气溶胶是背后的主因. 雾霾天气不仅影响交通安

全, 而且对人体健康也产生严重的威胁^[2~5].

收稿日期: 2014-01-18; 修订日期: 2014-04-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(41275143); 公益性行业(气象)科研专项(201206011); 江苏省高校自然科学研究重大基础研究项目(12KJA170003); 江苏省“333”高层次人才培养工程项目; 江苏省“六大人才高峰”计划项目; 江苏高校研究生创新计划项目(CXLX12_0496)

作者简介: 刘晓慧(1986), 女, 硕士, 主要研究方向为大气物理与大气环境, E-mail: lxh7757@126.com

* 通讯联系人, E-mail: binzhu@nuist.edu.cn

近年来霾的问题越来越严重,规范霾的判断指标越来越重要. 吴兑^[6]对不同时期, World Meteorology Organization(WMO)和其他国家气象机构给出的雾与霾的区别进行了总结. WMO 在 1984 年的报告里,规定霾的相对湿度低于 80%^[7],在 1996 年的报告里规定能见度低于 1 km,相对湿度比某个百分数低,如 80%^[8],在 2005 年的报告里规定能见度不高于 5 km^[9];英国气象局在 1994 年规定出现霾时相对湿度低于 95%^[10];而我国气象局的地面观测规范文件中,对于雾和霾的判断没有给出明确的相对湿度作为辅助标准,各地的观测员对于霾的判别不规范,因此对于霾的研究不能直接使用天气现象资料进行分析^[11]. 吴兑等^[12]和刘宁微^[13]等在讨论珠江三角洲地区和沈阳地区霾对能见度的影响中,他们选择日均相对湿度小于 90%,并排除降水、吹雪、雪暴、扬沙、沙尘暴、浮尘、烟幕等天气的数据进行了分析. 毛敏娟等^[14]则是排除了日均相对湿度大于 80%和降水等天气的数据对浙江的霾天气成因进行了研究,发现灰霾天气形成起主要作用的是细粒子,关键排放因子是黑碳、NO₂ 和 SO₂. Schichtel 等^[15]、Doyle 等^[16]和 Che 等^[17]分别对美国、英国和中国霾影响能见度的长期变化进行了分析,他们使用 14:00 的能见度,相对湿度和天气现象对数据进行筛选确保数据质量,发现霾主要集中在气溶胶偏高的地区,大气污染物能够显著降低能见

度. 在 2010 年中国气象局发布了气象行业标准(QX/T 113-2010)^[18](简称“标准”)对霾的观测和等级预报添加了大气成分指标.

目前对于低能见度事件研究较多,研究主要集中在能见度的长期变化趋势、时空分布特征以及低能见度事件下气溶胶的理化特性和天气形势特征等^[19~27],但对于霾日的判断没有统一的规范标准. 赵普生等^[28]曾利用日均及 14:00 气象数据对于京津冀地区霾日的判定做了对比分析,但没有与“标准”中霾的判定进行对比. 本文针对长江三角洲地区近 30 年的地面观测数据以及南京北郊近 1 年的 PM_{2.5}数据,对比霾日判别方法 1、2、3 与方法 4(霾的观测和等级预报,QX/T 113-2010)的差异,并对不同时次发生霾的情况进行比较,探讨霾观测标准再完善的可能性,以期为霾的准确判别和预报预警提供依据.

1 材料与方法

1.1 数据来源

本研究所使用长江三角洲地区 1980~2009 年 38 个观测站的常规观测资料源自中国气象局信息中心(<http://cdc.cma.gov.cn>)^[29],站点的地理信息如表 1 所示. 所使用南京北郊 2012 年 5 月~2013 年 4 月的 PM_{2.5}数据由美国热电公司生产的 FH62C14 系列β射线在线大气颗粒物浓度观测仪

表 1 站点的地理信息

Table 1 Geographical locations of the observation stations

站号	站点	经度/(°)	纬度/(°)	高度/m	站号	站点	经度/(°)	纬度/(°)	高度/m
58015	砀山(DS)	116.33	34.42	50.9	58345	溧阳(LY)	119.48	31.43	8.1
58027	徐州(XZ)	117.15	34.28	41.9	58358	吴县东山(WX)	120.43	31.07	18.7
58040	赣榆(GY)	119.12	34.83	9.8	58362	上海(SH)	121.48	31.4	8.2
58102	亳州(BZ)	115.77	33.87	41.8	58424	安庆(AQ)	117.05	30.53	19.6
58122	宿县(SX)	116.98	33.63	36.7	58437	黄山(HS)	118.15	30.13	1 836.3
58138	盱眙(XY)	118.52	32.98	36.3	58445	天目山(TM)	119.42	30.35	1 502.9
58144	淮阴(HY)	119.03	33.6	18.6	58457	杭州(HZ)	120.17	30.23	43.2
58150	射阳(SY)	125.25	33.77	6.7	58464	平湖(PH)	121.08	30.62	10.9
58203	阜阳(FY)	115.82	32.92	38.6	58472	嵊泗(SS)	122.45	30.73	81.2
58215	寿县(SX)	116.78	32.55	23.5	58477	定海(DH)	122.1	30.03	36.6
58221	蚌埠(BB)	117.38	32.95	26	58531	屯溪(TX)	118.28	29.72	145.3
58238	南京(NJ)	118.8	32	12.5	58556	嵊县(SX)	120.82	29.6	107.6
58241	高邮(GY)	119.45	32.8	10	58562	鄞县(YX)	121.57	29.87	5.2
58251	东台(DT)	120.32	32.87	5.1	58569	石浦(SP)	121.95	29.35	128
58259	南通(NT)	120.85	32.02	5.8	58633	衢州(QZ)	118.87	28.96	67.1
58265	吕泗(LS)	121.6	32.07	9.6	58646	丽水(LS)	119.92	28.45	61.8
58314	霍山(HS)	116.32	31.4	72.7	58665	洪家(HJ)	121.42	28.62	2.2
58321	合肥(HF)	117.23	31.87	36.5	58666	大陈岛(DC)	121.9	28.45	84.4
58343	常州(CZ)	119.93	31.77	5.8	58667	玉环(YH)	121.27	28.08	92.9

器获得,数据时间分辨率为 30 min,观测期间的气象数据来自中国气象局大气探测基地(南京信息工程大学) CAWS600 型自动气象站,能见度数据采用 CJY-1 型能见度仪观测获得,时间分辨率为 1 min. 由于 2012 年 8 月和 9 月数据有缺失,为保证讨论结果的准确性,将 8 月和 9 月数据全部剔除.

1.2 研究方法

对于处理大量历史资料,霾日的判别有两类常用的方法,一类是日均值法,一般相对湿度 <80% 时的大气混浊导致的能见度恶化是霾造成的,相对湿度 >95% 时的大气混浊导致的能见度恶化是雾造成的,相对湿度介于 80% ~ 95% 时,大气混浊导致的能见度恶化是雾和霾共同作用造成的^[11]. 因此对于霾日的判断一般是在能见度 <10 km 的前提下,以相对湿度来作为霾的判断依据,不同的学者判定霾的相对湿度有所不同. 吴兑^[30] 提出日均值法得到霾日,将日均能见度 <10 km,日均相对湿度 <90%,并排除降水、吹雪、雪暴、扬沙、沙尘暴、浮尘、烟幕等天气记为一个霾日. 毛敏娟等^[14] 在分析浙江霾天气成因时,经过大量分析,将日均能见度 <10 km,日均相对湿度 <80%,并排除降水、吹雪、雪暴、扬沙、沙尘暴、浮尘、烟幕等天气记为一个

霾日. 另一类是采用 14:00 实测值法,这也是国际上广泛采用的讨论霾长期趋势的方法^[15-17],即: 14:00 数据满足能见度 <10 km,相对湿度 <90%,天气代码为 05(霾),或者当天气代码记为 01(露)、02(霜)、03(结冰)、04(烟幕)、10(轻雾)时,仍调整记为一个霾日. 利用天气代码可将降水、吹雪、扬沙、沙尘暴、浮尘、烟幕等天气排除掉. 当相对湿度 <90% 时,雾比较难以形成,这样既可以将轻雾中被误报的霾分离出来,又可以将在霾中误报的轻雾分离出去^[11]. 在“标准”(霾的观测和等级预报, QX/T113-2010)^[18] 中规定能见度 <10 km,相对湿度 <80% 判为霾,相对湿度介于 80% ~ 95% 时,需考虑大气成分指标($PM_{2.5}$ 浓度, PM_{10} 浓度,气溶胶散射系数和吸收系数)进一步辨识,但该“标准”中有规定该指标是针对日均值或小时值. 郑秋萍等^[31] 和戴永立等^[32] 参考该“标准”对霾进行分析时,他们将“标准”中的指标应用于日均值,即:日均能见度 <10 km,日均相对湿度 <80%,日均相对湿度介于 80% ~ 95% 时, $PM_{2.5}$ 浓度 >75 $\mu g \cdot m^{-3}$ 定为一个霾日. 文中将常用的霾日识别方法进行了总结,见表 2. 霾时是采用 14:00 数据判断霾的方法进行识别.

表 2 霾日与霾时的识别标准

Table 2 Distinguishing standards of haze day and haze hour

霾日	方法 1	日均能见度 <10 km, 日均相对湿度 <90%, 排除降水、吹雪、雪暴、扬沙、沙尘暴、浮尘、烟幕等天气 ^[11]
	方法 2	日均能见度 <10 km, 日均相对湿度 <80%, 排除降水吹雪、雪暴、扬沙、沙尘暴、浮尘、烟幕等天气 ^[14]
	方法 3	14:00 实测数据能见度 <10 km, 相对湿度 <90%, 天气代码为 05(霾), 或者当天气代码记为 01(露)、02(霜)、03(结冰)、04(烟幕)、10(轻雾)时, 仍调整记为一个霾日 ^[11]
	方法 4	排除降水等天气, 日均能见度 <10 km, 日均相对湿度 <80%, 日均相对湿度介于 80% ~ 95% 时, $PM_{2.5}$ 浓度 >75 $\mu g \cdot m^{-3}$ ^[30]
霾时	02:00、08:00、20:00	实测数据能见度 <10 km, 相对湿度 <90%, 天气代码为 05(霾), 或者当天气代码记为 01(露)、02(霜)、03(结冰)、04(烟幕)、10(轻雾)时, 仍调整记为一个霾时

2 结果与分析

2.1 长江三角洲地区霾日分布

图 1 为不同方法统计出来的长三角地区逐 10 a 累计霾日分布情况. 从中可看出,由方法 1 统计出的霾日最多;方法 3 考虑了天气现象,比方法 1 和 2 更合理,方法 3 统计出来的霾日最少. 由于方法 3 使用的是 14:00 实测数据,14:00 是一天中能见度最好的时次,14:00 不发生霾并不能代表其他时次没有霾的发生,但方法 3 能够突出较长时间的霾天气过程. 3 种方法均能反映出 1980 ~ 2009 年长三角地区霾的发展趋势和分布情况. 长三角地区逐 10

年累计霾日数呈增长趋势,尤其是在 2000 年以后,霾污染变得更加严重. 由 3 种方法得到的霾日高值区都分布在南京、杭州、合肥、衢州、上海和射阳一带,其中南京、杭州、合肥和衢州霾更为严重. 在 1980 ~ 1989 年上海的霾日数较多,1990 年以后,上海的霾日数减少,而射阳在 1900 年以后霾日数逐渐增多.

不同的方法在霾日数上差别较大. 表 3 所示,1980 ~ 1989 年方法 1 是方法 2 统计霾日的 2.56 倍,是方法 3 的 2.57 倍;1990 ~ 1999 年方法 1 是方法 2 统计霾日的 2.33 倍,是方法 3 的 2.32 倍;2000 ~ 2009 年方法 1 是方法 2 统计的霾日的 1.81

倍,是方法3的2.31倍.随着年代际变化,1980~2009年方法1与方法2得到的霾日数差别变得更小.方法1与方法2的区别在于相对湿度的不同,方法1的相对湿度比方法2的范围大10%,方法1比方法2得到霾日数多,但方法1与方法2年代际之间的差别却逐渐减小.这说明从80年代到现在霾日数由相对湿度10%的差距所起的作用逐渐减小.这可能是由于近二三十年以来,我国中东部区域的气溶胶显著增加^[33,34],使得霾发生时相对湿度降低.

图2为不同方法统计出的长三角地区单个站点年平均霾日分布.其中显示,多数站点利用不同方法统计出的年平均霾日相差较大.在霾日比较严重

表3 方法1与其他方法得到的霾日数的年代际比较

Table 3 Compared haze days obtained from Method 1 with other methods

项目 ¹⁾	1980~1989年	1990~1999年	2000~2009年
a	2.56	2.33	1.81
b	2.57	2.32	2.31

1) a:方法1得到的霾日数是方法2得到的霾日数的倍数;b:方法1得到的霾日数是方法3得到的霾日数的倍数

的城市,如:南京、杭州、合肥和衢州,由这3种方法统计出来的霾日相差较小.说明在霾严重的城市,这3种方法比较容易判断出霾日,而在霾不严重的地区,不同的方法造成的差异较大.在长江三角洲38个站点中,有51.3%的站点由方法2得到

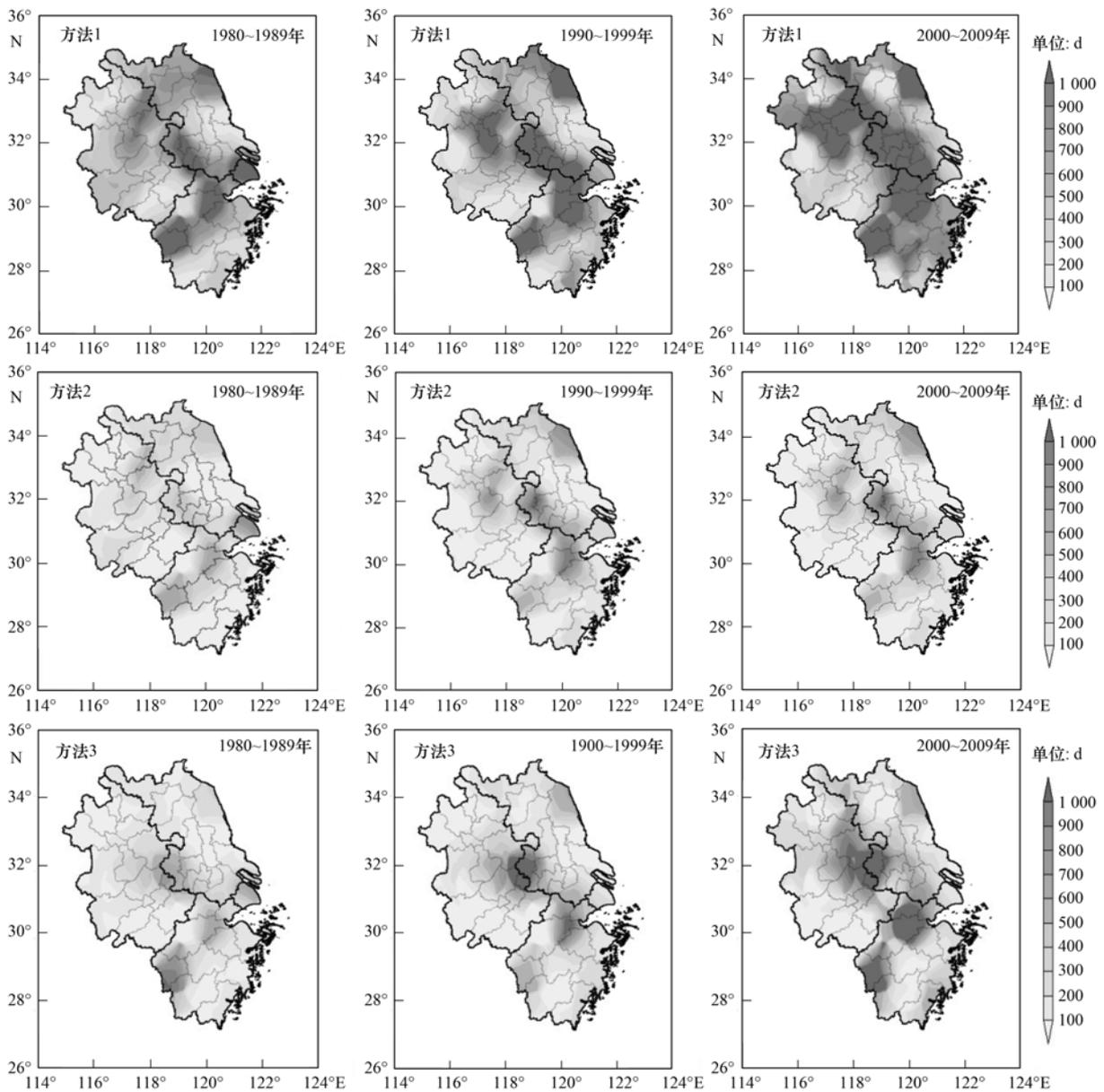


图1 1980~2009年长三角地区不同方法逐10 a 累计霾日分布

Fig. 1 Distribution of haze day in Yangtze River Delta region using different methods from 1980 to 2009

的多年平均霾日数比方法 3 得到的高. 从单个站点霾日的多年平均图来看, 大多数站点由方法 3

得到的霾远小于由方法 1 得到的霾, 略低于由方法 2 得到的霾.

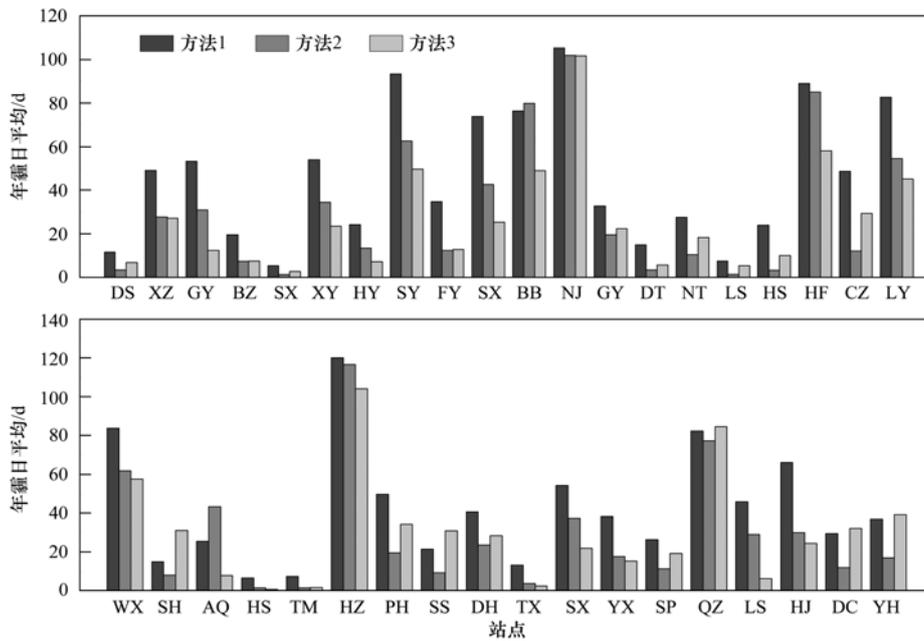


图 2 1980 ~ 2009 年长三角地区站点多年霾日平均对比

Fig. 2 Comparisons of average haze days in Yangtze River Delta region with different methods from 1980 to 2009

2.2 长江三角洲地区霾时分布特征

为了分析长江三角洲地区不同时次发生霾的情况, 并比较由 14:00 数据得到的霾日与其他时次的区别. 图 3 给出了长江三角洲地区霾时的分布. 从中可以发现, 发生在 02:00 和 20:00 的霾较少, 且分布与长三角的霾日分布较为一致, 发生在 08:00 时的霾最多, 范围最广; 1980 ~ 1999 年发生在 02:00、08:00 和 20:00 的霾变化不明显, 2000 年以后发生在 02:00、08:00 和 20:00 的霾增加. 这可能是由于我国中东部人为排放的气溶胶显著增加导致^[34,35]. 表 4 所示, 08:00 与其他时次发生霾的情况比较发现, 1980 ~ 1989 年 08:00 霾时是 02:00 霾时的 4.09 倍, 是 14:00 霾时的 2.61 倍, 是 20:00 霾时的 4.18 倍; 1990 ~ 1999 年 08:00 霾时是 02:00 霾时的 3.23 倍, 是 14:00 霾时的 2.09 倍, 是 20:00 霾时的 2.94 倍; 2000 ~ 2009 年 08:00 霾时是 02:00 霾时的 1.64 倍, 是

表 4 08:00 与其他时次霾的年代际比较

Table 4 Decadal comparison between haze occurrence at 08:00 and other times

项目 ¹⁾	1980 ~ 1989 年	1990 ~ 1999 年	2000 ~ 2009 年
a	4.09	3.23	1.64
b	2.61	2.09	1.87
c	4.18	2.94	1.93

1) a: 08:00 霾是 02:00 霾的倍数, b: 08:00 霾是 14:00 霾的倍数, c: 08:00 霾是 20:00 霾的倍数

14:00 霾时的 1.87 倍, 是 20:00 霾时的 1.93 倍. 从 1980 ~ 2009 年长江三角洲地区不同时次发生霾的差别逐渐减小, 尤其是在 2000 年以后. 这与上文中不同方法霾日判别的差异逐渐变小结论相同.

2.3 霾判别传统方法与“标准”对比: 以南京北郊为例

图 4 为不同方法下 2012 年 4 月 ~ 2013 年 5 月南京各月霾日数情况. 从中可看出, 除 7 月与 12 月, 方法 3 比方法 2 统计出的霾日略高外, 其他月份均是由方法 3 得到的霾日偏少, 由此可见方法 3 会因漏计其他时次出现的霾天气, 所以统计出的霾日少于其他方法. 南京除 2012 年 7 月和 2013 年 4 月霾日数在 10 d 左右外, 其他月份不管采用哪一种方法, 霾都在 15 d 以上. 在 2012 年 6 月和 10 月南京均发生过持续性的污染天气, 在 2012 年冬季 (12 月 ~ 次年 2 月) 南京也遭受了我国中东部大范围持续性灰霾的影响. 因此这几个月份南京每月有将近 20 d 的霾天. 在严重的霾天时, 这 4 种方法得到的霾日数差别明显减小.

比较方法 4 与其他 3 种方法, 发现除 11 月和 12 月外, 其他月份由方法 1 得到的霾日数与方法 4 得到的霾日数最接近, 方法 2 和方法 3 得到霾日数比方法 4 得到的霾日数少, 这说明在排除降水天气, 相

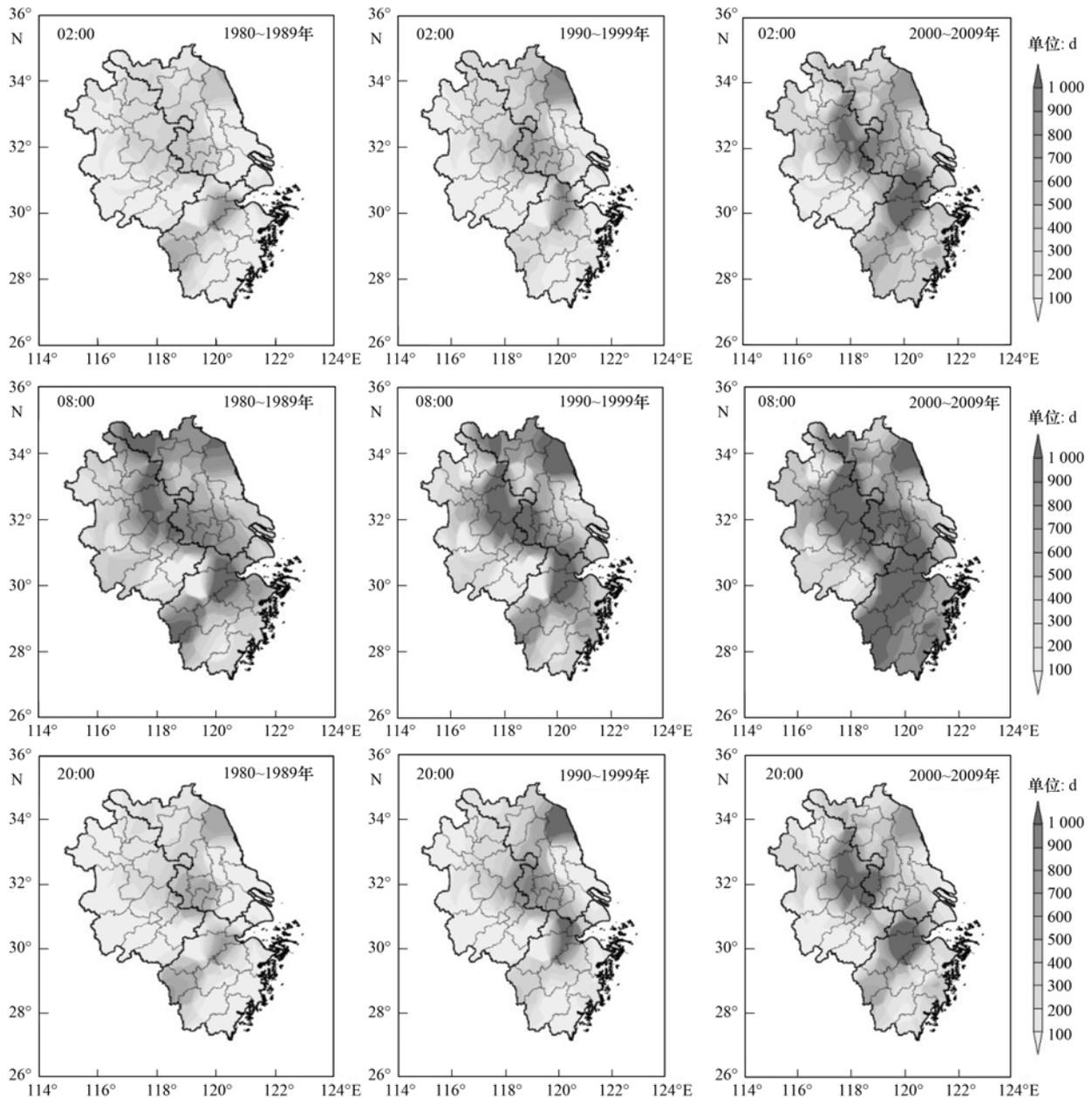


图3 1980~2009年长江三角洲地区霾时分布

Fig. 3 Distribution of haze hour in Yangtze River Delta region using different methods from 1980 to 2009

对湿度在 80% ~ 90% 的情况下,霾日的 $PM_{2.5}$ 质量浓度多数达到了 $75 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. 在“标准”^[18]中相对湿度介于 80% ~ 95% 时,能见度小于 10 km, $PM_{2.5}$ 的质量浓度超过 $75 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 判定为霾,而南京北郊相对湿度介于 80% ~ 95%,能见度在 10 km 左右时, $PM_{2.5}$ 的质量浓度平均值为 $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,因此南京北郊地区对于高相对湿度下(80% < RH < 95%)霾的辨识, $PM_{2.5}$ 的质量浓度低于“标准”中的 $75 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. 由于数据的局限性,文中没有讨论南京北郊地区其他的大气成分指标(PM_{10} 浓度,气溶胶散

射系数和吸收系数),因此该“标准”的其他指标是否适合南京北郊地区需要做进一步的讨论和分析.

为了分析不同霾方法对于区分霾等级的差别,图 5 给出了南京 2012 年 5 月 ~ 2013 年 4 月各月霾等级霾日数. 根据“标准”^[18],能见度介于 5 ~ 10 km,为轻微灰霾;能见度介于 3 ~ 5 km,为轻度灰霾;能见度介于 2 ~ 3 km,为中度灰霾;能见度小于 2 km,为重度灰霾. 由图 5 可看出,由方法 3 得到的多为轻微灰霾,只有在霾比较严重的 1 月和 2 月才有不同程度霾的出现,这说明方法 3 对于霾的等级

分析不适用. 方法 1、方法 2 和方法 4 都能比较好地得到霾的不同等级, 方法 1 与方法 4 得到的结果较为接近, 方法 2 得到的各霾等级的天数略少. 因方法 2 没有考虑相对湿度大于 80% 的情况, 所以容易遗漏高相对湿度下的霾天气.

3 结论

(1) 不同方法得到的长江三角洲地区霾的分布趋势较为一致, 霾日数高值主要分布在南京、杭州、合肥、衢州. 由方法 1 得到的霾日数最多, 方法 3 考虑了天气现象, 比方法 1 和 2 更合理. 随年代际变化, 3 种方法得到霾日数差异逐渐变小, 2000 年以后这种差异更加明显. 在霾严重的城市, 不同方法统

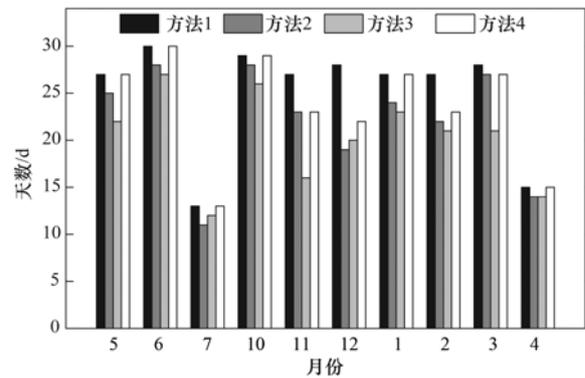


图 4 2012 年 5 月~2013 年 4 月南京各月霾日数

Fig. 4 Total number of haze days of every month in Nanjing from May, 2012 to April, 2013

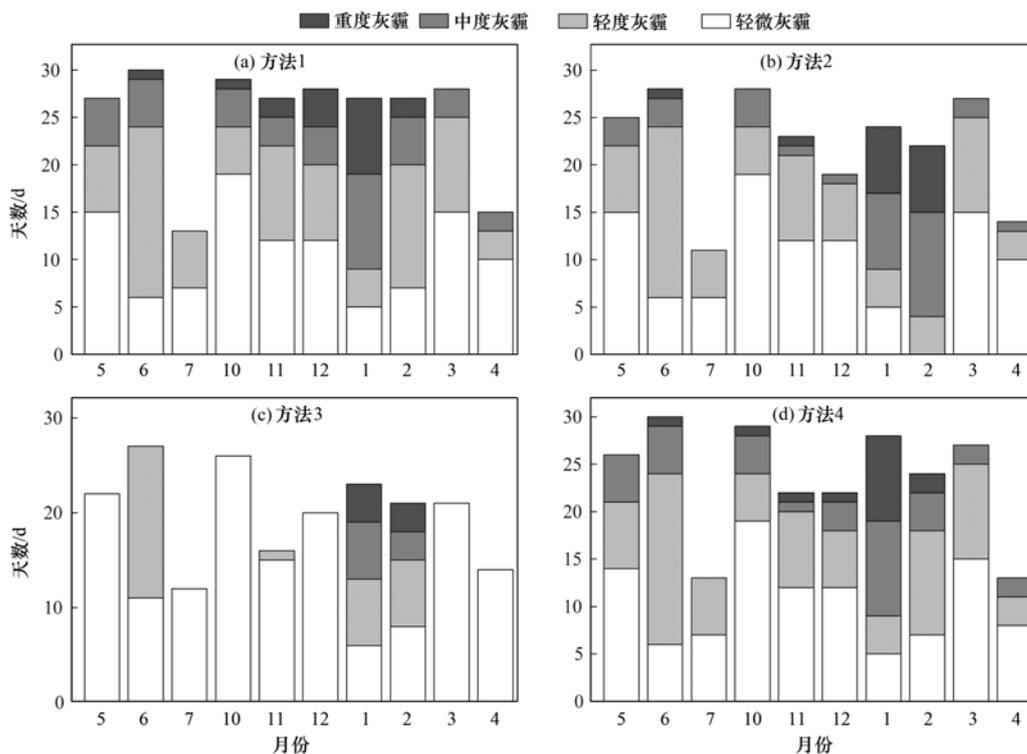


图 5 2012 年 5 月~2013 年 4 月南京各月灰霾等级霾数

Fig. 5 Different haze levels of total haze days in Nanjing from May, 2012 to April, 2013

计得到的霾日数相差甚微.

(2) 长江三角洲地区发生在 08:00 的霾最多, 1980~1999 年 02:00、08:00 及 20:00 的霾变化不明显, 2000 年以后, 不同时次的霾都有所增加. 长江三角洲地区霾时的分布与霾日分布一致. 随年代际变化, 不同时次发生霾的差距逐渐变小.

(3) 方法 4 与方法 1 得到的霾日数相差不大, 除方法 3 外, 其他的霾日判别都能反映出霾的等级程度. 南京北郊地区, 相对湿度介于 80%~95% 情

况下, 对于霾的辨识, $PM_{2.5}$ 的质量浓度低于“标准”中的 $75 \mu g \cdot m^{-3}$.

参考文献:

- [1] 张小曳, 孙俊英, 王亚强, 等. 我国雾-霾成因及其治理的思考[J]. 科学通报, 2013, 58(13): 1178-1187.
- [2] Pope III C A, Burnett R T, Thun M J, et al. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution [J]. The Journal of the American Medical Association, 2002, 287(9): 1132-1141.
- [3] 阚海东, 陈秉衡. 我国大气颗粒物暴露与人群健康效应的关系[J]. 环境与健康杂志, 2002, 19(6): 422-424.

- [4] 张衍桑, 马国霞, 於万, 等. 2013 年 1 月灰霾污染事件期间京津冀地区 $PM_{2.5}$ 污染的人体健康损害评估 2013 [J]. 中华医学杂志, 2013, **93**(34): 2707-2710.
- [5] 殷永文, 程金平, 段玉森, 等. 上海市霾期间 $PM_{2.5}$, PM_{10} 污染与呼吸科, 儿呼吸科门诊人数的相关分析 [J]. 环境科学, 2011, **32**(7): 1894-1898.
- [6] 吴兑. 大城市区域霾与雾的区别和灰霾天气预警信号发布 [J]. 环境科学与技术, 2008, **31**(9): 1-7.
- [7] World Meteorological Organization, WMO-No. 266, Compendium of Lecture Notes for Training Class IV Meteorological Personnel Volume I I-Meteorology [S].
- [8] World Meteorological Organization, WMO-No. 8, Guide to Meteorologica Instruments and Methods of Observation [S].
- [9] World Meteorological Organization, WMO-No. 782, Aerodrome Reports and Forecasts: A User s' Handbook to the Codes [S].
- [10] Meteorological Office, Handbook of Aviation Meteorology [S].
- [11] 吴兑, 吴晓京, 朱小祥. 雾和霾 [M]. 北京: 气象出版社, 2009. 53-54.
- [12] 吴兑, 毕雪岩, 邓雪娇, 等. 珠江三角洲气溶胶云造成的严重灰霾天气 [J]. 自然灾害学报, 2006, **15**(6): 77-83.
- [13] 刘宁微, 马雁军, 刘晓梅, 等. 1980-2009 年沈阳灰霾的变化趋势研究 [J]. 干旱区资源与环境, 2010, **24**(10): 92-94.
- [14] 毛敏娟, 刘厚通, 徐宏辉, 等. 多元观测资料融合应用的灰霾天气关键成因研究 [J]. 环境科学学报, 2013, **33**(3): 806-813.
- [15] Schichtel B A, Husar R B, Falke S R, *et al.* Haze trends over the United States, 1980-1995 [J]. Atmospheric Environment, 2001, **35**(30): 5205-5210.
- [16] Doyle M, Dorling S. Visibility trends in the UK 1950-1997 [J]. Atmospheric Environment, 2002, **36**(19): 3161-3172.
- [17] Che H Z, Zhang X Y, Li Y, *et al.* Haze trends over the capital cities of 31 provinces in China, 1981-2005 [J]. Theoretical and Applied Climatology, 2009, **97**(3-4): 235-242.
- [18] QX/T 113-2010, 霾的观测和等级预报 [S].
- [19] 于兴娜, 李新妹, 登增然登, 等. 北京雾霾天气期间气溶胶光学特性 [J]. 环境科学, 2012, **33**(4): 1057-1062.
- [20] 陶俊, 柴发合, 高健, 等. 16 届亚运会期间广州城区 $PM_{2.5}$ 化学组分特征及其对霾天气的影响 [J]. 环境科学, 2013, **34**(2): 409-415.
- [21] Sisler J F, Malm W C. Interpretation of trends of $PM_{2.5}$ and reconstructed visibility from the improve network [J]. Journal of the Air & Waste Management Association, 2000, **50**(5): 775-789.
- [22] Pitchford M, Malm W, Schichtel B, *et al.* Revised algorithm for estimating light extinction from IMPROVE particle speciation data [J]. Journal of the Air & Waste Management Association, 2007, **57**(11): 1326-1336.
- [23] 尚倩, 李子华, 杨军, 等. 南京冬季大气气溶胶粒子谱分布及其对能见度的影响 [J]. 环境科学, 2011, **32**(9): 2750-2760.
- [24] Zhang Q H, Zhang J P, Xue H W. The challenge of improving visibility in Beijing [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2010, **10**(16): 7821-7827.
- [25] Wu D, Tie X X, Li C C, *et al.* An extremely low visibility event over the Guangzhou region: A case study [J]. Atmospheric Environment, 2005, **39**(35): 6568-6577.
- [26] 刘晓慧, 朱彬, 王红磊. 长江三角洲地区 1980 ~ 2009 年灰霾分布特征及影响因子 [J]. 中国环境科学, 2013, **33**(11): 1929-1936.
- [27] 张人禾, 李强, 张若楠. 2013 年 1 月中国东部持续性强雾霾天气产生的气象条件分析 [J]. 中国科学, 2013, **44**(1): 27-36.
- [28] 赵普生, 张小玲, 徐晓峰. 利用日均及 14 时气象数据进行霾日判定的比较分析 [J]. 环境科学学报, 2011, **31**(4): 704-708.
- [29] 中国气象科学数据共享网 [EB/OL]. <http://cdc.cma.gov.cn/home.do>.
- [30] 吴兑. 霾与雾的识别和资料分析处理 [J]. 环境化学, 2008, **27**(3): 327-330.
- [31] 郑秋萍, 刘红年, 唐丽娟, 等. 苏州灰霾特征分析 [J]. 气象科学, 2013, **33**(1): 83-88.
- [32] 戴永立, 陶俊, 林泽健, 等. 2006 ~ 2009 年我国超大城市霾天气特征及影响因子分析 [J]. 环境科学, 2013, **34**(8): 2925-2932.
- [33] Zhang X Y, Wang Y Q, Niu T, *et al.* Atmospheric aerosol compositions in China: spatial/temporal variability, chemical signature, regional haze distribution and comparisons with global aerosols [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2012, **12**(2): 779-799.
- [34] 曹国良, 张小曳, 龚山陵, 等. 中国区域主要颗粒物及污染气体的排放源清单 [J]. 科学通报, 2011, **56**(3): 261-268.
- [35] 张强, Klimont Z, Streets D G. 中国人为源颗粒物排放模型及 2001 年排放清单估算 [J]. 自然科学进展, 2006, **16**(2): 223-231.

CONTENTS

Comparative Analysis Methods of Haze Distinction over Yangtze River Delta Region	LIU Xiao-hui, ZHU Bin, GAO Jin-hui, <i>et al.</i> (3239)
Trends of Urban Haze in Jiangsu Province China over the Past 33 Years	LIU Duan-yang, WEI Jian-su, YAN Wen-lian, <i>et al.</i> (3247)
Temporal Variation of Background Atmospheric CO ₂ and CH ₄ at Mount Waliguan, China	LIU Peng, ZHANG Guo-qing, WANG Jian-qiong, <i>et al.</i> (3256)
Characteristics and Sources of Organic Carbon and Elemental Carbon in PM _{2.5} in Shanghai Urban Area	ZHANG Yi-hua, WANG Dong-fang, ZHAO Qian-biao, <i>et al.</i> (3263)
Size Distribution and Characterization of OC and EC in Atmospheric Aerosols During the Asian Youth Games of Nanjing, China	WANG Hong-lei, ZHU Bin, AN Jun-lin, <i>et al.</i> (3271)
Pollution Characteristics of Carbonaceous Aerosols in PM _{2.5} During Typical Winter Days in Wuxi City	YUN Long-long, LU Fan, ZHANG Tian-shu, <i>et al.</i> (3280)
Emission Characteristics of PM _{2.5} from Blast Furnace Iron Making	FAN Zhen-zhen, ZHAO Ya-li, ZHAO Hao-ning, <i>et al.</i> (3287)
Composition Characteristics of Atmospheric Volatile Organic Compounds in the Urban Area of Beibei District, Chongqing	QI Xin, HAO Qing-ju, JI Dong-sheng, <i>et al.</i> (3293)
Catalytic Oxidation of Two-component VOCs and Kinetic Analysis	BO Long-li, YANG Li, SUN Jian-yu, <i>et al.</i> (3302)
Ultrafine Particle Number Concentration and Size Distribution of Vehicle Exhaust Ultrafine Particles	LU Ye-qiang, CHEN Qiu-fang, SUN Zai, <i>et al.</i> (3309)
Major Ion Chemistry of Surface Water in the Upper Reach of Shule River Basin and the Possible Controls	ZHOU Jia-xin, DING Yong-jian, ZENG Guo-xiong, <i>et al.</i> (3315)
Sediment-water Flux and Processes of Nutrients and Gaseous Nitrogen Release in a China River Reservoir	CHEN Zhu-hong, CHEN Neng-wang, WU Yin-qi, <i>et al.</i> (3325)
Spatial Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in the Tidal Reach and Its Adjacent Sea Estuary of Daliaohe Area, China	ZHANG Lei, QIN Yan-wen, MA Ying-qun, <i>et al.</i> (3336)
Chemical Speciation and Risk Assessment of Heavy Metals in the Middle Part of Yarlung Zangbo Surface Sediments	BAI Jian-kun, LI Chao-liu, KANG Shi-chang, <i>et al.</i> (3346)
Analysis of Particle Size Characteristics of Road Sediments in Beijing Olympic Park	LI Hai-yan, SHI An-bang, QU Yang-sheng, <i>et al.</i> (3352)
Levels and Distribution of the Dioxin-Like Polychlorinated Biphenyls (PCBs) in the Surface Sediment of the Yellow River	LI Guang-yao, JIN Jun, HE Chang, <i>et al.</i> (3358)
Characteristics of Nitrogen and Phosphorus Retention in Two Different Channel Forms in a Typical Headwater Stream in the Suburb of Hefei City, China	LI Ru-zhong, YANG Ji-wei, QIAN Jing, <i>et al.</i> (3365)
Migration and Transformation of Nitrogen in Urban Stream Located in Plain River-net Area Based on Water Resources Regulation	LIU Bo, SHENG Ming, ZHU Qiang, <i>et al.</i> (3373)
Decomposition and Phosphorus Dynamics of the Litters in Standing and Litterbag of the Hangzhou Bay Coastal Wetland	SHAO Xue-xin, LIANG Xin-qiang, WU Ming, <i>et al.</i> (3381)
Muti-model Collaborative Retrieval of Chlorophyll a in Taihu Lake Based on Data Assimilation	LI Yuan, LI Yun-mei, LÜ Heng, <i>et al.</i> (3389)
Photobleaching of Dissolved Organic Matter (DOM) from Confluence of Two Rivers Under Natural Solar Radiation; A Case Study of Fujiang River-Jialingjiang River	GAO Jie, JIANG Tao, YAN Jin-long, <i>et al.</i> (3397)
Using Ultraviolet-Visible (UV-Vis) Absorption Spectrum to Estimate the Dissolved Organic Matter (DOM) Concentration in Water, Soils and Sediments of Typical Water-Level Fluctuation Zones of the Three Gorges Reservoir Areas	LI Lu-lu, JIANG Tao, LU Song, <i>et al.</i> (3408)
Synthesis of Cu ₂ O-Ag-AgBr/MA Visible Photocatalyst and Its Performance in Degradation of 2-Chlorophenol	WANG Ran, ZHOU Xue-feng, HU Xue-xiang, <i>et al.</i> (3417)
Effects of Particle Size of Zero-Valent Iron on the Reactivity of Activating Persulfate and Kinetics for the Degradation of Acid Orange 7	LI Huan-xuan, WAN Jin-quan, MA Yong-wen, <i>et al.</i> (3422)
Degradation of 2,4-D by Combined Catalytic Dechlorination and Biological Oxidation	ZHOU Hong-yi, ZENG Si-si, LIANG Si, <i>et al.</i> (3430)
Treatment of Marine-Aquaculture Effluent by the Multi-Soil-Layer (MSL) System and Subsurface Flow Constructed Wetland	SONG Ying, HUANG Yu-ting, GE Chuan, <i>et al.</i> (3436)
Variation of Different Carbon Sources in the Sewage Treatment Process	JIN Peng-kang, CHANG Jin, WANG Xian-bao, <i>et al.</i> (3443)
Effect of Gas-lift Device on Nitrogen Removal Efficiency of ANAMMOX Reactor	LI Xiang, ZHANG Da-lin, HUANG Yong, <i>et al.</i> (3449)
Enhancement for Anaerobic Digestion of Sewage Sludge Pretreated by Microwave and Its Combined Processes	LIU Ji-bao, NI Xiao-tang, WEI Yuan-song, <i>et al.</i> (3455)
Pilot Study of Thermal Treatment/Thermophilic Anaerobic Digestion Process Treating Waste Activated Sludge of High Solid Content	WU Jing, WANG Guang-qi, CAO Zhi-ping, <i>et al.</i> (3461)
Effects of Temperature on Combined Process of ABR and MBR for Domestic Sewage Treatment and Analysis of Microbial Community	WU Peng, LU Shuang-jun, XU Yue-zhong, <i>et al.</i> (3466)
Microbial Community of Municipal Discharges in A Sewage Treatment Plant	XU Ai-ling, REN Jie, SONG Zhi-wen, <i>et al.</i> (3473)
Pilot-Scale Cultivation of <i>Spirulina plantensis</i> with Digested Piggery Wastewater	GUO Qing-qing, LIU Rui, LUO Jin-fei, <i>et al.</i> (3480)
Spectral Characteristics of Soluble Metabolites During Endogenous Respiration	LI Zhi-hua, ZHANG Qin, BAI Xu-li, <i>et al.</i> (3487)
Endogenous Respiration Process Analysis of Heterotrophic Biomass and Autotrophic Biomass Based on Respiration Map	LI Zhi-hua, BAI Xu-li, ZHANG Qin, <i>et al.</i> (3492)
Influence of S-Metolachlor and Cd ²⁺ on Photosynthesis of <i>Scenedesmus obliquus</i>	CHEN Cai-dong, HU Xiao-na, ZHANG Xiao-qiang, <i>et al.</i> (3498)
Effect of Environmental Factors on Fish Community Structure in the Huntai River Basin at Multiple Scales	LI Yan-li, LI Yan-fen, XU Zong-xue (3504)
Succession of Rotifer Community and Its Relationship with Environmental Factors in a New Estuarial Landscape River, Shanghai	MA Wen-hua, ZHANG Wei, GU Wan-wen, <i>et al.</i> (3513)
Anaerobic Reduction of Humus/Fe(III) and Electron Transport Mechanism of <i>Fontibacter</i> sp. SgZ-2	MA Chen, YANG Gui-qin, LU Qin, <i>et al.</i> (3522)
Source Apportionment of Soil Heavy Metals in Jiapigou Goldmine Based on the UNMIX Model	AI Jian-chao, WANG Ning, YANG Jing (3530)
Environmental Magnetic Properties and Their Spatial Variability of Topsoil in Shihezi City	YANG Han, XIONG Hei-gang, CHEN Xue-gang (3537)
Effects of Different Amounts of Phosphate Fertilizers on Copper, Zinc Transfer in Red Soil Under the Application of KH ₂ PO ₄	GUO Liang, LI Zhong-wu, HUANG Bin, <i>et al.</i> (3546)
Influence of Sulfur on the Bioavailability of Arsenic Uptake by Rice (<i>Oryza sativa</i> L.) and Its Speciation in Soil	YANG Shi-jie, TANG Bing-pei, WANG Dai-chang, <i>et al.</i> (3553)
Effects of Sulfur on Transformation of Selenium in Soil and Uptake of Selenium in Rape	LIU Xin-wei, DUAN Bi-hui, XIA Quan-jie, <i>et al.</i> (3564)
Impact of Reclaimed Water Irrigation on Soil Chemical Properties and Culturable Microorganisms	GONG Xue, WANG Ji-hua, GUAN Jian-fei, <i>et al.</i> (3572)
Influence of Different Slope Position and Profile in <i>Disporopsis pernyi</i> Forest Land on Soil Microbial Biomass and Enzyme Activity in Southwest Karst Mountain of China	QIN Hua-Jun, HE Bing-Hui, ZHAO Xuan-chi, <i>et al.</i> (3580)
Effects of Different Soil Types on the Foliar δ ¹³ C Values of Common Local Plant Species in Karst Rocky Desertification Area in Central Guizhou Province	DU Xue-lian, WANG Shi-jie, LUO Xu-qiang (3587)
Effect of Carbon Substrate Concentration on N ₂ , N ₂ O, NO, CO ₂ and CH ₄ Emissions from a Paddy Soil in Anaerobic Condition	CHEN Nuo, LIAO Ting-ting, WANG Rui, <i>et al.</i> (3595)
Ability of Typical Greenery Shrubs of Beijing to Adsorb and Arrest PM _{2.5}	LIANG Dan, WANG Bin, WANG Yun-qi, <i>et al.</i> (3605)
Effects of Chlorides on Cd Transformation in a Simulated Grate Incinerator During Sludge Incineration Process	LIU Jing-yong, ZHUO Zhong-xu, SUN Shui-yu, <i>et al.</i> (3612)
Spatial Temporal Differentiation of Product-based and Consumption-based CO ₂ Emissions and Balance in the Beijing-Tianjin-Hebei Region; an Economic Input-Output Analysis	WANG Hao, CHEN Cao-cao, PAN Tao, <i>et al.</i> (3619)
Study on Feasible Emission Control Level of Air Pollutions for Cement Industry	REN Chun, JIANG Mei, ZOU Lan, <i>et al.</i> (3632)

《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)

2014年9月15日 第35卷 第9期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 9 Sep. 15, 2014

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@reces. 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@reces. 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: 90.00 元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行