ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

自念美玩 Acta Ecologica Sinica



第32卷 第4期 Vol.32 No.4 2012

中国生态学学会 主办 中国科学院生态环境研究中心 *科 译 出 版 社* 出版



生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

中国科学院科学出版基金资助出版

第 32 卷 第 4 期 2012 年 2 月 (半月刊)

次

目

围垦对南汇东滩湿地大型底栖动物的影响 马长安,徐霖林,田 伟,等(1007)
基于 ArcView-WOE 的下辽河平原地下水生态系统健康评价 孙才志,杨 磊 (1016)
京郊典型集约化"农田-畜牧"生产系统氮素流动特征 侯 勇,高志岭,马文奇,等(1028)
不同辐射条件下苹果叶片净光合速率模拟 高照全,冯社章,张显川,等(1037)
藏北高原典型植被样区物候变化及其对气候变化的响应 宋春桥,游松财,柯灵红,等(1045)
祁连山中段林草交错带土壤水热特征及其对气象要素的响应 唐振兴,何志斌,刘 鹄(1056)
祁连山青海云杉林冠生态水文效应及其影响因素 田凤霞,赵传燕,冯兆东,等(1066)
呼伦贝尔沙地樟子松年轮生长对气候变化的响应 尚建勋,时忠杰,高吉喜,等(1077)
结合激光雷达分析上海地区一次连续浮尘天气过程 马井会,顾松强,陈 敏,等(1085)
福建中部近海浮游动物数量分布与水团变化的关系 田丰歌,徐兆礼(1097)
香港巨牡蛎和长牡蛎幼虫及稚贝的表型性状 张跃环,王昭萍,闫喜武,等(1105)
东海原甲藻与中肋骨条藻的种间竞争特征李 慧,王江涛(1115)
起始生物量比对3种海洋微藻种间竞争的影响魏杰,赵文,杨为东,等(1124)
不同磷条件下塔玛亚历山大藻氮的生态幅
秦岭天然次生油松林冠层降雨再分配特征及延滞效应陈书军,陈存根,邹伯才,等(1142)
伊犁河谷北坡垂直分布格局及其与环境的关系——一种特殊的双峰分布格局
濒危种四合木与其近缘种霸王水分关系参数和光合特性的比较 石松利,王迎春,周红兵,等(1163)
干旱胁迫下黄土高原4种乡土禾草抗氧化特性 单长卷,韩蕊莲,梁宗锁(1174)
施加角担子菌 B6 对连作西瓜土壤微环境和西瓜生长的影响 肖 逸,王兴祥,王宏伟,等(1185)
内蒙古典型草原区芨芨草群落适生生境
盐渍化灌区土壤盐分的时空变异特征及其与地下水埋深的关系 管孝艳,王少丽,高占义,等(1202)
黄土高原水蚀风蚀交错区坡地土壤剖面饱和导水率空间异质性 刘春利,胡 伟,贾宏福,等(1211)
松嫩平原玉米带农田土壤氮密度时空格局 张春华,王宗明,居为民,等(1220)
小麦冬性强弱评价体系的建立
唐家河自然保护区高山姬鼠和中华姬鼠夏季生境选择的比较 黎运喜, 张泽钧, 孙宜然, 等 (1241)
西花蓟马在6种蔬菜寄主上的实验种群生命表 曹 宇,郅军锐,孔译贤(1249)
同位素富集-稀释法研究食性转变对鱼类不同组织 N 同位素转化率的影响
基于生态网络分析的南京主城区重要生态斑块识别 许文雯,孙 翔,朱晓东,等(1264)
珠三角城市绿地 CO2通量的季节特征 孙春健,王春林,申双和,等(1273)
污染场地地下水渗流场模拟与评价——以柘城县为例 吴以中,朱沁园,刘 宁,等(1283)
专论与综述
湿地退化研究进展
绿洲农田氮素积累与淋溶研究述评 杨 荣,苏永中,王雪峰(1308)
问题讨论
抗辐射菌 Deinococcus radiodurans 的多样性 屠振力,方俐晶,王家刚 (1318)
平茬措施对柠条生理特征及土壤水分的影响 杨永胜,卜崇峰,高国雄 (1327)
研究简报
祁连山典型灌丛降雨截留特征
野生鸭儿芹种子休眠特性及破除方法
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 348 * zh * P * ¥70. 00 * 1510 * 36 * 2012-02

封面图说: 遗鸥群飞来——遗鸥意即"遗落之鸥"(几乎是最后才被发现的新鸥种,因此得名)。1931 年,瑞典动物学家隆伯格 撰文记述在中国额济纳采到了标本。1987 年,中国的鸟类学家在鄂尔多斯的 桃力庙获得了一对遗鸥的标本。1990 年春夏之交,发现了湖心各岛上大量的遗鸥种群。近年来的每年夏季,大约全球 90% 以上的遗鸥都会 到陕西省神 木县境内的沙漠 茨水湖-红碱读上、泉集。遗园——国家一级重点保护、CITES 附录一物种。

彩图提供:陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites. chenjw@163. com

DOI: 10.5846/stxb201012251843

马井会,顾松强,陈敏,施红,张国琏.结合激光雷达分析上海地区一次连续浮尘天气过程.生态学报,2012,32(4):1085-1096. Ma J H, Gu S Q, Chen M, Shi H, Zhang G L. Analysis of a dust case using lidar in Shanghai. Acta Ecologica Sinica,2012,32(4):1085-1096.

结合激光雷达分析上海地区一次连续浮尘天气过程

马井会*,顾松强,陈 敏,施 红,张国琏

(上海市浦东新区气象局,上海 200135)

摘要:通过分析 2010 年 3 月至 20 日至 3 月 22 日上海地区一次典型的连续浮尘天气过程,利用激光雷达数据资料反演得到的 气溶胶消光系数图和垂直廓线图,结合地面气象数据和气溶胶观测资料以及卫星遥感资料,初步得出了此次连续浮尘天气形成 的原因。外源性输入和垂直风场分布是导致此次浮尘天气发生的重要原因,大气层结变化决定着浮尘天气发生的强度,当存在 接地逆温时,浮尘天气维持,而太阳辐射强度变化决定着边界层高度的变化。第一次浮尘过程以大颗粒污染为主,且在消光作 用中散射性气溶胶的贡献大于吸收性气溶胶,而第二次回流浮尘过程则 PM_{2.5}比重上升,吸收性气溶胶对消光系数的贡献与散 射性气溶胶大体相当。

关键词:浮尘;激光雷达;消光系数;PM₁₀;PM_{2.5};黑碳(BC)

Analysis of a dust case using lidar in Shanghai

MA Jinghui^{*}, GU Songqiang, CHEN Min, SHI Hong, ZHANG Guolian Pudong New Area Meteorological Office, Shanghai 200135, China

Abstract: The dust case was analyzed by using aerosol extinction coefficient sequence chart retrieved by lidar observation data and meteorological observation data. The key factor of these two dust cases occurred was the dust transferred from North China, and the key reason of those two dust cases maintain so long was exogenous input and the vertical wind. The atmospheric profile affected the intensity of dust case. The dust case was holding when the temperature inversion occurred at the ground. The solar radiation affected the height of boundary layer. The main particulate matter is big size particle in the first dust case, and the aerosol scattering coefficient was higher than the aerosol absorption coefficient. The proportion of PM2. 5 rose in the reflux dust case, and the aerosol scattering coefficient corresponded to the aerosol absorption coefficient.

Key Words: dust; lidar; extinction coefficient; PM₁₀; PM_{2.5}; black C(BC)

沙尘气溶胶对大气环境有显著影响,其所经过地区污染指数增高,大气光学厚度显著增加^[1],甚至造成 沙尘的跨国输送^[2]。我国西北属于中亚沙尘暴区的一部分,是东亚沙尘气溶胶的主要源区,也是世界上唯一 在中纬度(35—45°N)发生高频率沙尘暴的区域,且位于高原,因此有其特殊性。由此产生的沙尘在西风带系 统的引导下输送到中国东部、韩国、日本甚至美国的夏威夷和西海岸^[2],从而对农业、城市交通和人类生产生 活造成较大影响。关于沙尘天气发生的条件、过程及其危害国际上已有不少研究,我国学者近年来也对沙尘 气溶胶物理化学特征、影响的气候因子、成分分析及近地面特征进行了较为详细的分析,颜鹏等人分析了北方 沙尘暴输送影响期间临安气溶胶质量浓度尺度分布的演变特点以及气溶胶化学成分与不同空气来源的关 系^[3]、陈永桥等人利用离子色谱分析对北京市大气气溶胶中的水溶性无机离子进行了分析^[4]、张仁建等人分

收稿日期:2010-12-25; 修订日期:2011-11-15

基金项目:长三角区域环境空气质量联动机制研究(沪环科 2010-03); 上海市科委重大项目

^{*} 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jinghuima1223@ hotmail. com

析了沙尘暴期间北京近地层气象要素的变化和沙尘期间土壤尘谱分布及其来源^[5]、赵光平等人通过对不同 生态背景与气象条件下沙尘暴发生频次及平均持续时间的分类对比分析,摸清了产生沙尘暴的气象和生态因 子间的量化对应关系^[6]、黄富祥等人深入地考察了毛乌素沙地的气候因素对沙尘暴频率的影响作用^[7]。刘 志丽等人介绍了亚洲沙尘暴遥感监测的一些新方法,并对监测结果与数据进行了综合分析,这些结果能够为 GCM 全球尺度沙尘模型提供参数和验证数据^[8]。激光雷达技术的发展为探测大气中的气溶胶粒子提供了有 利的探测工具^[9]。近年来,我国各地春季沙尘天气的出现越来越引起人们的广泛关注,上海作为中国东部地 区的典型超大城市,春季浮尘天气对整个城市交通、人民身体健康的影响尤其不能忽视,陈敏等^[10]对 2007 年 春季上海地区一次浮尘天气过程进行了潜势分析及后向轨迹分析,得出来自蒙古的沙尘暴自西向东、自北向 南、自上而下对上海地区产生影响。

目前,国内学者在地基激光雷达遥感气溶胶方面已经做了很多工作,如 Chen 等^[11]在日本筑波利用微脉 冲激光雷达的观测,反演了边界层变化,发现边界层高度随时间的波动以及卷挟层和垂直风速对边界层高度 的影响。贺千山等^[12]于 2002 年 3—10 月在北京大学利用微脉冲激光雷达观测了对流层气溶胶垂直变化,并 提出一种反演混合层高度的方法,这种方法反演的混合层高度与探空测量结果有比较好的一致性。邱金恒 等^[13]利用一台多波长激光雷达探测了对流层高云和气溶胶,并依据探测结果重点分析了北京 2000 年 1 月至 4 月对流层上部云和气溶胶在 532 nm 波长消光系数分布特征。刘诚等^[14]利用微脉冲激光雷达给出了西藏那 曲和北京郊区大气对流层气溶胶消光系数的垂直分布。Huang J P 等^[15]利用微脉冲激光雷达研究了黄土高 原上空气溶胶的垂直结构。郭本军等^[16]利用微脉冲激光雷达对大连的一次沙尘天气进行了详细分析,提出 了该次沙尘天气受大气层结的影响较大,外源性特征明显。

2008 年 5 月,上海市浦东气象局建设投入业务化运行监测大气气溶胶的激光雷达,至今已监测到 10 余次浮尘天气过程。本文将利用该微脉冲激光雷达对 2010 年 3 月 20 日至 23 日的浮尘天气过程的遥感信息,结合气象条件的分析,来分析浮尘天气时上海上空的气溶胶分布及变化规律,探讨浮尘天气出现时气溶胶的辐射特性,以期对为沙尘污染的防治提供科学依据。

1 浮尘天气过程回顾

1.1 污染实况

2010年3月21日和23日,上海市出现了两次空气 污染过程,从国家环保总局网站获取的空气质量日报 (12:00—12:00 的平均值)资料也清晰地反映了这两次 污染天气,21 日首要污染物(PM₁₀(大气中直径在 10μm 以下的颗粒物,俗称可吸入颗粒物))API(Air pollution index)指数为最大值 500,为重度污染,23 日首要污染 物(PM₁₀)API 指数为 162,为轻度污染。API 指数大于 500(小时平均浓度大于 600 µg/m³)的时段出现在 20 日 15:00-21 日 10:00, API 指数大于 100(小时平均浓 度大于 150µg/m³)的时段分别出现在 20 日 10:00-14:00、10:00—11:00 以及 22 日 08:00—23 日 02:00。 图 1 为 19 日 12:00-23 日 12:00 浦东站 PM10、PM2.5 (指大气中直径小于或等于 2.5µm 的颗粒物,也称为可 入肺颗粒物)及 PM₁(指大气中直径小于或等于 1.0μm 的颗粒物)小时平均浓度随时间变化情况,PM10最大小 时平均浓度出现在 21 日 00:00, 高达 1700.6 µg/m3;第 2个峰值出现在22 日 19:00,为451.9μg/m³。





Fig. 1 The hourly average concentration of particles changing with time

PM₁₀: 大气中直径在 10μm 以下的颗粒物; PM_{2.5}: 指大气中直径 小于或等于 2.5μm 的颗粒物; PM₁:指大气中直径小于或等于 1.0μm 的颗粒物

1.2 卫星遥感实况

4 期

根据3月21日13:07 EOS(Earth Observation System)/MODIS(MODerate resolution Imaging Spectroradiometer) 卫星监测到的沙尘分布(图2)发现,发源自蒙古国并连续2d影响我国北部地区的沙尘对上海及其周边地区 产生较大的影响,沙尘(卫星遥感图像上显示为土黄色,绿线区域内)主要分布在长三角西部地区,范围覆盖 了安徽大部、江苏南部和浙江北部、台湾海峡及东部海面,呈现由西北向东南的传输趋势。从 MODIS 反演的 中国东部地区气溶胶 550nm 波段光学厚度(AOD(Aerosol Optical Depth))(图3)可见, AOD 最大值高达4.8, 沙尘造成整个长三角地区上空气溶胶负荷严重,受浮尘传输路径影响,安徽、江苏南部和浙江北部以及上海受 其影响较为严重,而江苏中北部和浙江中南部影响程度相对较轻。



图 2 3 月 21 日 13 时 EOS/MODIS 星监测沙尘分布合成图 Fig. 2 The dust distribution image observing by EOS/MODIS at 13:00 on March 21



图 3 MODIS 反演中国东部地区的气溶胶 550 nm 光学厚度 (AOD)



从 Aura 卫星上搭载的 OMI(Ozone Monitoring Instrument)观测的 UVAI(Ultra Violet Aerosol Index)分布图 可以看到(图4),3月20日上海附近的UVAI高达2.4,由于沙尘气溶胶对太阳紫外波段有较强吸收,可以通 过 Aura/OMI 354 和 388 nm 通道测得 UVAI, UVAI 值越大, 说明大气中包含较多对该波段吸收能力强的气溶 胶,即沙尘气溶胶^[17]。可见3月20日上海上空的气溶胶主要为沙尘气溶胶,3月22日上海地区的UVAI在 1.2 左右,说明空气中的沙尘气溶胶含量较20日明显下降。



图 4 3 月 20 日和 22 日 Aura/OMI UVAI 等值线填充图(白色区域为缺少相应数据) Fig. 4 Contour plots of Aura/OMI UVAI on March 20 and 22 (The white regions indicate a lack of retrieval data)

2 数据资料及分析方法

2.1 仪器及资料介绍

上海市浦东新区气象局位于上海市浦东新区锦绣路(31.2°N,121.4°E),毗邻世纪公园,视野开阔,观测 仪器放置于该气象中心楼顶的恒温室中(23.3℃),为MPL_4B型微脉冲激光雷达系统,它由4部分组成:激光 发射系统、光学收发系统、探测器和数据采集系统。该仪器自2008年5月开始正式投入观测,每30s观测1 次,并提供24h实时的信号采集和数据显示。主要技术参数有:波长527nm;激光器类型ND:YLF(一种激光 发射晶体,是非常适合锁模方式工作获得短脉冲激光的优秀晶体,它的热透镜效应非常小,荧光线宽宽,输出 线偏振光。);单次脉冲能量6—8µJ;脉冲宽度24ns;脉冲重复频率2.5kHz;激光发散度为0.00286°;接收视场 0.00573°;空间分辨率为30m;积分时间是30s;探测盲区为200m。激光器发射的激光通过与大气中的气溶胶 及各种大气成分的作用而产生后向散射信号,对探测器接收的携带着被测物质有关的信息(吸收、散射等)进 行分析处理便可得到所需的大气物理要素(如大气消光系数等)。激光雷达对气溶胶的监测在探测高度、时 空分辨率及测量精度等方面的优势是其他探测手段不能比拟的。

浦东站现有观测项目为气溶胶质量浓度及数浓度(PM₁、PM_{2.5}、PM₁₀)、黑碳(BC)、气溶胶散射特性(浊度)。其中,黑碳仪为美国 Magee Scientific 公司的 AE-31 型黑碳(BC)仪,共有 7 个波段,即 370、470、520、590、660、880、950nm,本文中的黑碳(BC)数据使用的是 880nm 波段。浊度计为澳大利亚 Ecotech 公司生产的 M9003 积分浊度计,直接测量的是气溶胶的散射系数(525nm)。太阳辐射、风速等相关气象要素则由芬兰 Vaisala 公司的 Milos500 七要素自动气象站观测得到,本文的气象场资料采用中国气象局下发的 Micaps 资料。 2.2 消光系数的反演

激光雷达接收到的回波信号都是能量值,一般需要通过求解雷达方程来得到需要的光学特性值。而在处 理激光雷达的数据之前,必须先修正有关的雷达因子。修正后的雷达方程为:

$$P(r) = CE\beta(r)\exp\left[-2\int_{0}^{r}\sigma(z)\,\mathrm{d}z\right]$$
(1)

式中,*P*为激光雷达接收到高度 r(km)处的大气后向散射回波功率(W),*E* 为激光雷达的发射能量(μ J),*C* 为激光雷达系统常数(W·km³·sr), $\beta(r)$ 和 $\sigma(r)$ 分别为高度 r 处大气的总后向散射系数和消光系数(km⁻¹·sr⁻¹和 km⁻¹)。它们都是未知量,所以需要用特定的方法来进行反演,如:Collis 法、Klett 法和 Fernald 法 3 种, Collis 法应用的前提条件是大气均匀分布,但是在实际大气中,气溶胶与云、雾等分布经常出现较大的变化,而 实际大气并不是均匀分布的。Klett 在 Collis 的斜率法的工作基础之上更进一步提出的,该方法有效克服了均 匀大气的限制,从而得到了广泛的应用,但该方法没有区分气溶胶和空气分子。目前普遍采用的 Fernald 法是 将大气看作是气溶胶和空气分子的总和,所以式(1)可写成:

$$P(r) = CE[\beta_{a}(r) + \beta_{m}(r)] \exp[-2\int_{0}^{r} [\sigma_{a}(z) + \sigma_{m}(z)] dz]$$

$$(2)$$

式中,a和m分别代表气溶胶和空气分子,由于方程中含有两个未知量 $\beta_a(r)$ 和 $\sigma_a(r)(\beta_m(r)$ 和 $\sigma_m(r)$ 可根据美国标准大气模式得到),并不能直接求得其值,而该方法引入了 $\beta(r)$ 与 $\sigma(r)$ 之间的关系,即消光后向散射比S(r)。于是气溶胶消光后向散射比为 $S_a(r) = \sigma_a(r)/\beta_a(r)$,空气分子消光后向散射比为 $S_m(r) = \sigma_m(r)/\beta_m(r)$,接下来,就可以基于方程(2)对气溶胶和空气分子的光学特性分别求解。

本文采用 Fernald^[18]的远端求解法,把边界取到大气上层的几乎不含气溶胶的清洁处 r_m(km),则方程 (2)可写为如下格式:

$$\sigma_{a}(r) = -\frac{S_{a}}{S_{m}}\sigma_{m}(r) + \frac{\ln[P(r)]\exp[2(\frac{S_{a}}{S_{m}} - 1)\int_{r}^{r_{m}}\sigma_{m}(z)dz]}{\frac{\ln P(r_{m})}{\sigma_{a}(r_{m}) + \frac{S_{a}}{S_{m}}\sigma_{m}(r_{m})} + 2\int_{r}^{r_{m}}\ln[P(r)]\exp[2(\frac{S_{a}}{S_{m}} - 1)\int_{r}^{r_{m}}\sigma_{m}(z')dz']dz}$$
(3)

http://www.ecologica.cn

式中, S_a 是气溶胶消光后向散射比,其值在 20—70 之间^[19-20], S_m 是空气分子的消光后向散射比,其值为 8 π /3,可以根据 Rayleigh 散射理论由美国标准大气模式提供的空气分子密度的垂直廓线计算得到, r_m 是边界高度。

3 探测分析结果及讨论

3.1 天气背景分析

图 5 为上海宝山站 20 日 08:00—23 日 08:00 高空 风时间剖面图,由图 5 可见,20 日 08:00 北方冷空气前 锋开始影响上海,近地面吹西南风,冷空气影响区域出 现大范围的浮尘扬沙等低能见度天气(图 6(a)),至 20 日 20:00,上海地区近地面层已经转为西北风,此时上 海地区天气现象记录为浮尘,能见度在 3—7km 之间。 从 500、700、850hPa 风场演变来看,20 日 20:00 上海各 层都已转为槽后西北气流(图 5),北方冷空气的从高层 侵入在上海地区上空堆积了大量的颗粒物,当地面转为 西北风后,由于高空到地面为一致的下沉气流,高空的 颗粒物逐步向地面输送,同时污染物失去了向上扩散的 能力,因而导致了 20—21 日上海浮尘天气的发生。随 着冷空气进一步南侵,浮尘天气范围逐渐向东南方向扩



展,从21日14:00地面天气图(图6b)可以看到,沙尘天气区已经移出上海,覆盖浙江、福建、江西北部、安徽南部、湖北以及台湾及台湾东北部洋面。21日20:00(图6c),浮尘天气仍然在上述地区维持。

22 日 14:00 地面图显示上海及周边地区气压场较弱(图 6d),为低压控制。上海、浙江、江苏南部及台湾 及东部海面上存在大范围的浮尘扬沙以及霾等低能见度天气,由图 5 可以看出,22 日 08:00 上海地区近地面 吹偏南风,21 日维持在浙江、福建及台湾海峡等地的浮尘在偏南气流的作用下对上海有回流输送的作用, 14:00天气现象记录大部分为霾少部分记录为浮尘,最小能见度在 8km 左右(图 6d)。从 500、700、850hPa 天 气图来看,22 日 08:00 上海各层都处于槽前西南气流控制(图 5),说明此时上海地区未受北方冷空气影响, 22—23 日浮尘天气系前一天滞留在上海以南地区的浮尘回流所致。

3.2 后向轨迹分析

为进一步证明 20—21 日影响上海的浮尘来源于蒙古国而 22—23 日上海地区的浮尘天气为周边地区回 流所致,分别对浮尘天气做了 48h 和 24h 后向轨迹分析(图 7)。所用模式为 NOAA 的 HYSPLIT 模式,所用资 料均采用 NCEP 再分析资料。计算点选择上海(31.2°N,121.4°E),从 3 月 21 日 00:00 及 3 月 22 日 00:00 (UCT)开始回算。由图 7 可见,造成上海地区 3 月 21 日浮尘天气的源地确实在蒙古境内。从沙尘的传输高 度来看,3 月 19 日 08:00 标志点还位于蒙古国东北部 750hPa(大约 3.0km 左右)高空处,至 20 日 08:00 标志 点已明显东移南下到达内蒙与华北交界上空 650hPa(大约 4.0km)高空,随后的 24h,标志点继续南下,且高度 逐渐降低,3 月 20 日 20:00 标志点沿近地面进入上海,上海地区浮尘天气开始。后向轨迹分析进一步验证了 3 月 20—21 日上海浮尘天气来源于蒙古国的沙尘暴,自北向南、自上而下影响上海。由图 7 可以看出,22 日 08:00 左右开始影响上海的浮尘天气 24h 源地为台湾海峡北面的洋面上,而海面不可能为沙尘暴的起源地, 只能说明该浮尘系前一天北方沙尘输送并滞留于此,在偏南风的作用下回流至上海。此次过程沙尘的传输高度较低,标志点自南向北的传输高度均在 850hPa(约 1.5km)以下,3 月 22 日 08:00 标志点沿近地面进入上海,上海地区又一次浮尘天气开始。3 月 22 日的后向轨迹分析验证了 22—23 日上海的浮尘来源于 21 日滞留 在台湾海峡北部地区的浮尘回流。

3.3 探空资料分析

3月20日08:00至22日20:00上海宝山站高空探测记录显示(图8)上海700—1000hPa范围内都存在



图 6 3月20日08:00(a)、21日14:00(b)、21日20:00(c)及22日14:00(d)地面天气图(棕色区域为沙尘区) Fig. 6 Surface weather maps for 08:00 on March 20(a),14:00(b) and 20:00(c) on March 21 and 14:00 on March 22(d)(The brown region are dust area)

一个明显的逆温层或等温层,但不同时刻逆温层或等温层的高度不同,逆温层的高度与浮尘天气具有较好的 对应关系,高度降低至接地逆温,浮尘天气发生。其中以3月20日08:00的接地逆温层最强和最为完整,逆 温层的存在使得大气湍流作用减弱,层结稳定,污染物不易扩散。20日20:00—21日20:00,逆温层高度抬 升,至22日20:00逆温层又下降为接地逆温层,又一次浮尘天气来临。

3.4 地面气象要素分析

图 9 是 19 日 12:00—23 日 12:00 的浦东站风向风速及太阳总辐射的逐小时变化曲线,其中风速为整点 两分钟平均风速,风向为小时内主导风向,太阳总辐射为小时平均值。由图 9 可知 20 日上午上海处于冷锋 前,地面风向为西南风,风速较小,在 1m/s 以下,西南风使得上游城市群的气溶胶对本地有一定的输送作用, 所以从图 1 可以看出,颗粒物浓度的上升主要是以 PM₁的浓度上升为主,该时段人工观测能见度在 10km 以 上。午后,风向逐渐转为偏西风、西北风,且风速开始增大,达到了 2m/s 左右,北方冷空气开始影响本地,结 合图 1 可知,伴随着冷空气的南下,颗粒物迅速上升,尤其是 PM₁₀的浓度陡升,峰值达到了 1700 μg/m³ 左右, PM_{2.5}的浓度也有明显上升,而 PM₁的浓度却略有下降,说明随着冷空气的南下,北方沙尘等大颗粒污染物不 断地输送到本地;随着冷空气的南下,沙尘等大颗粒污染物的输送使得本地的能见度进一步下降,该时段人工 观测能见度在 5—6km;由于 19 日和 20 日都是晴空无云天气,从太阳总辐射量变化也可以看出,20 日白天的







Fig. 8 Temperature stratification curve of upper air sounding of Baoshan station

地表总辐射最大值约为19日的一半,500W/m²左右,可以看出浮尘的消光作用非常明显。

到 21 日上午,随着地面冷高压的东移南压,风速进一步增大,达到了 3—4m/s,且地面风向开始转为偏东风,偏东风使得海上的清洁空气对本地的污染物有较明显的稀释作用,此时,能见度开始迅速转好,人工观测能见度超过 10km 以上;21 日午后的太阳总辐射较 20 日同期有明显的上升,与 19 日相当。此时颗粒物浓度迅速下降,由于前期主要受沙尘等大颗粒污染物影响,故 PM₁₀和 PM_{2.5}的浓度出现迅速下降的同时 PM₁则变化不明显。22 日起地面风向逐渐转为东南风,到了中午前后转为偏南风,前期的沙尘等大颗粒污染物已经南压到上海以南,但是受高压后部的偏南环流影响,且风速较大,在 3m/s 左右,使得南方的污染物又回流到上海,污染物浓度再一次上升。从图 1 可以看出,从 22 日上午开始,PM₁、PM_{2.5}和 PM₁₀的浓度都开始逐渐上升,在 22 日上半夜达到了峰值。23 日 00:00 前后开始,地面风向转为西北风,风速开始有所增大,达到了 3m/s,风向转为北风向(西北风、东北风)面北方已无沙尘继续输送,故上海地区颗粒物浓度开始明显下降,能见度

亦开始有所好转,到23日上午人工观测能见度已经达到了20km以上。北方沙尘天气对上海造成的连续浮 尘天气过程结束。

3.5 气溶胶的光学特性分析

图 10 是 2010 年 3 月 20 日 00:00—23 日 12:00 上 窗 海浦东站气溶胶消光系数(527nm)垂直结构随时间变 化图。从图中可以看到两次明显的浮尘天气过程,分别 是 20—21 日过程和 22—23 日过程,两次过程在消光系 数随时间变化图上表现为近地面层(小于 1.0km)存在 均匀的消光系数大值区,其强度随时间变化不明显。

从图 10 来看,20 日 03:00 至 08:00,1.5—3.0km 高空存在一个消光系数大值区(>0.313km⁻¹),随后大 值区高度逐渐降低,20 日 10:00—21 日 09:00 消光系数 大值区(>0.313km⁻¹)都集中在小于 1.0km 的边界层



图 9 19 日 12:00—23 日 12:00 浦东站各气象要素小时平均图 Fig. 9 The hourly meteorological elements of Pudong at 12:00 on March 19 to 23





内,这主要是由于近地层有逆温层存在,风速较小,湍流活动较弱,不利于输送和扩散。另外可以看出边界层 的变化有较好的连续性,且能看出气溶胶消光强度的显著变化(不同颜色代表消光系数的强弱,见颜色条), 该时段地面观测到的 PM₁₀浓度很高,浦东站最大达到 1700μg/m³。21 日 09:00 开始,近地面的消光强度开始 降低,消光强度较大值抬升至 1.0—1.5km 处,21 日 12:00 太阳总辐射达到 875W/m²,风速也较大(大于 3.5m/s)(图 9),湍流混合作用剧烈,从而导致气溶胶从地面向上不断抬升,边界层逐渐抬高,扩散能力增强, 逆温层也相应抬高,此时的消光系数大值区抬升至 2.0—2.5km,由于该高度有逆温层的存在,沙尘在此高度 维持。另外,从 09:00 开始,3.0km 以上高空的消光系数大于 0,说明高空有沙尘气溶胶输送。22 日 00:00 过 后,气温降低,风速略有减小,消光系数大值区处于 0.5—1.0km,此时 0.5km 以下的边界层消光系数开始逐 渐增大,22 日 04:00 开始,2.5km 左右开始有云层出现,表现为一条窄的消光系数大值带,该高度的云层一直 维持至 23 日 02:00。22 日白天,受高空云层的影响,太阳辐射明显减弱,且地面风速呈逐渐减弱状态,边界层 被限制在 1.0km 以下,导致沙尘气溶胶堆积且无法扩散。18:00 过后出现的大量的颗粒物堆积使得近地面消 光系数显著增强,19:30 的消光系数已达到 0.34km⁻¹(图 10),22 日出现又浮尘天气。该情况一直维持至 23 日早晨,云底高度降低,开始有降水出现,浮尘天气结束。

图 11 为 20—22 日 9 个时次气溶胶消光系数廓线图,它很好地反映了此次过程的气溶胶垂直结构的变化。由图 11 可见,20 日 08:00,2.2km 以下都存在消光系数大值区,到了 20 日 14:00 和 20:00,消光系数大值





区下降到0.9km以下,且近地面消光系数迅速增大,最 大达到0.5km⁻¹,说明沙尘气溶胶是由高层逐渐向低层 扩散的。至21日05:00,近地面消光系数达到 0.52km⁻¹,随后消光系数大值区开始向高空扩展,至21 日14:00,最大值位于1.0km左右的高空,此时在 2.5km左右高空,有一个消光系数的次高值区,说明可 能有补充的沙尘输入,到了21日20:00,高空的高值区 下降至1.8km左右高度,1.0km左右的高值区维持,两 高值区之间的"清洁区"为高空逆温层所在区(图8层 结曲线)。22日02:00,高空逆温层消失,两层沙尘合并 后沉降至0.5km左右的高度,至14:00,消光系数最大 值下降到地面,最大值为0.2km⁻¹,至20:00,随着边界 层高度下降,地面消光系数值有所增大,最大达到 0.28km⁻¹。







3.6 气溶胶的物理特性分析

浮尘天气是指尘土、细沙均匀地浮游在空中,使水 平能见度小于 10.0km 的天气现象。图 12 反映的是此次连续浮尘天气过程不同粒径颗粒物之间的相互关 系,20—21 日浮尘天气过程 PM₁₀中只有 30% 左右是 PM_{2.5},10% 左右是 PM₁,由此可见,此次浮尘天气过程中 大气中绝大部分是大于 2.5μm 的粒子。22—23 日浮尘天气过程 PM₁₀中有 50%—90% 是 PM_{2.5},20%—80% 是 PM₁,由此可见,此次浮尘天气过程中绝大部分是小于 2.5μm 的粒子,并且以小于 1.0μm 的小颗粒为主,进 一步说明可能为前两天浮尘天气大颗粒沉降后残余的小颗粒回流所致。

黑碳(BC)气溶胶作为细粒子的重要成员,其在气溶胶中的比重变化将对大气的物理化学特性及气候效应起着重要作用。分析 BC 气溶胶在颗粒物中的比重,可以更好地认识 BC 在气溶胶气候效应中发挥的作用。

32 卷

本研究所使用的 BC 仪的进气口上加装了 2.5µm 的切割头,因为黑碳主要存在于 PM_{2.5}中^[21]因此所测得的 BC 是粒径小于 2.5µm 的 BC 质量浓度。利用 BC 质量浓度和 PM_{2.5}质量浓度资料,可以分析 PM_{2.5}中 BC 所占 的比重。由图 12 可知, 20—21 日浮尘天气过程 BC 在 PM_{2.5}的比重变化幅度不明显,最大达到 10%,所以此 次过程 BC 在 PM_{2.5}中含量不高。22—23 日浮尘天气过程,BC 在 PM_{2.5}的比例有较明显增加,最大达到 18%, 虽然此次浮尘天气过程 BC 在 PM_{2.5}中比例也不高,但较前一次有明显增高,说明此次浮尘天气过程气溶胶成 分较前一次更为复杂。

为了进一步了解此次连续浮尘天气过程颗粒物对消光的贡献,本文从吸收系数和散射系数两个方面进行 验证,通常认为 $\sigma = \sigma_{scattering} + \sigma_{absorb}$,式中, $\sigma_{scattering}$ 为气溶胶散射系数(Mm^{-1}),本研究直接由浊度计测得 (525nm); σ_{absorb} 为气溶胶吸收系数(Mm^{-1}),相对于 BC 气溶胶的吸收来说,气溶胶其他成分对可见光的吸收 可忽略不计。因此,本研究认为气溶胶的吸收主要由黑碳气溶胶引起,于是由 $A_{532} = 8.28 \times M_{BC} + 2.23$ ^[22],式 中, A_{532} 为 BC 气溶胶吸收系数(Mm^{-1}), M_{BC} 为 BC 仪在 880nm 处测量的 BC 浓度($\mu g \cdot m^{-3}$),结果如图 12。

由图 13 可知,20—21 日浮尘天气过程在可见光波 段的吸收系数(532nm) 仅为散射系数(525nm)的 10% 到 20%,也就是说此次过程中散射性气溶胶对可见光 波段的消光作用的贡献更大,而 22—23 日浮尘天气过 程在可见光波段的吸收系数与散射系数几乎相等,说明 22—23 日过程吸收性气溶胶和散射性气溶胶对可见光 波段的消光作用的贡献几乎相等,22—23 日浮尘天气 过程气溶胶成分也更为复杂。

4 结论及讨论

本文利用卫星资料(MODIS、OMI)、地面气溶胶观 测资料和激光雷达观测资料,配合气象要素的观测,分 析了影响上海的一次连续浮尘过程,主要分析沙尘在上 海地区的传输特性,并且结合背景气象场,分析了沙尘





传输过程中受到动力场和温度场的影响,并对沙尘传输过程中,混合型沙尘气溶胶的光学性质、物理性质等进行了分析,对今后空气污染监测及预报提供一些科学依据。研究表明:

1)21 日浮尘过程外源性特征明显,大气高层出现沙尘富集现象首先出现在西风环流的高层大气,过程的 前期大气底层较为清洁,20 日 12:00 以前上海的地面风速一直较小,没有本地生成浮尘的条件,因此浮尘过 程(20 日 10:00—21 日 9:00)的大气低层出现气溶胶的富集情况,可认定为外源性沙尘的重力沉降。这在天 气图上和卫星遥感云图及后向轨迹分析上有明显的显现。22 日污染过程主要是前次浮尘回流所致,因为天 气图上没有明显冷空气活动,20 日输入的沙尘在本地周边维持,21 日白天受边界层升高影响,底层颗粒物浓 度有所稀释,22 日随着边界层的降低,又出现一次浮尘天气过程。

2)大气层结对沙尘的扩散、沉降起着关键作用。3月21日08:00—20:00上海宝山的高空探测记录显示 800—950hPa高度一直存在一个明显的逆温层(图9),逆温层由于层结稳定,没有湍流发展,也称为"清洁 层"。在消光系数时间序列图中,3月21日08:00—23:00,整层气溶胶被"清洁层"分成上下双层结构,上层 为外源性沙尘气溶胶层,下层为本地气溶胶层,逆温层的高度与气溶胶消光系数峰值廓线的最低高度(图11) 吻合。且峰区廓线的最低高度随着逆温层的高度降低而降低,这在21日08:00—22日02:00尤为明显,即 03:00以前,外源性沙尘在逆温层的影响下,只在逆温层之上传输、扩散,对逆温层之下的大气影响较小,而一 旦逆温层消失,沙尘气溶胶便迅速向地面扩散,沉降速度加快。

3)此次浮尘天气受气象要素的影响较大,冷空气影响上海之前能见度逐渐变差,冷空气影响上海之后, 能见度明显好转,浮尘对地面可见光波段的太阳辐射的消光作用明显。 4)20—21 日浮尘过程的能见度从 8km 下降至 2km 左右,到 21 日 12 时 00 分恢复到 18km 以上,能见度 的降低主要受大颗粒物的输送所致, PM_{2.5} 仅占 PM₁₀的 30% 左右。从可见光波段的散射系数和吸收系数来 看,散射性气溶胶在此次消光作用中的贡献大于吸收性气溶胶。22—23 日浮尘过程最低能见度在 5km 左右, 此次过程 PM_{2.5}占 PM₁₀的 50% 左右。从可见光波段的散射系数和吸收系数来看,散射性气溶胶和吸收性气溶 胶在此次消光作用中的贡献基本持平。

5)激光雷达对 2010 年 3 月 20—23 日影响上海的浮尘天气过程的监测可以看出,激光雷达能够监测大气 气溶胶的空间分布,并具有精度高、时空分辨率高等优势。也可以观测到沙尘影响的时空变化情况、云底高度 以及边界层高度情况。激光雷达在今后空气污染监测及预报中能够起到很好的作用。

本文根据 BC 质量浓度计算得到的 BC 吸收系数与 BC 的单位质量比吸收系数有关,而比吸收系数与 BC 粒子半径的谱分布特征有关,本文只是将整个过程中的比吸收系数取了一个常数进行计算,而本次过程中,受 北方沙尘输送前和输送过程中以及第2天的回流天气,其颗粒物的半径谱分布有较大差异,故对 BC 吸收系 数的计算存在一定不确定性,只能做一个定性的分析。

致谢:上海市卫星遥感与测量应用中心提供 MODIS 反演的气溶胶光学厚度及沙尘监测图,OMI 团队提供卫星 数据资料,特此致谢。

References:

- [1] Qiu J H, Sun J H. Optically remote sensing of the dust storm and result analysis. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 1994, 18(1): 1-10.
- [2] Ma J H, Zhang H, Zheng Y F, Sun Z A. The optical depth global distribution of dust aerosol and its possible reason analysis. Climatic and Environmental Research, 2007, 12(2): 156-164.
- [3] Yan P, Mao J T, Yang D Z, Liu G Q, Zhu A H, Yu X M, Liu G P. The characterization of aerosol physical and chemical properties at Lin'an station during the transport of a sandstorm. Quaternary Sciences, 2004, 24(4): 437-446.
- [4] Chen Y Q, Zhang Y, Zhang X S. Size distribution and seasonal variation of ions in aerosol at semi-urban site in Beijing. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(12): 3231-3236.
- [5] Zhang R J, Xu Y F, Han Z W. Characteristics of dust storm in boundary layer over Beijing. Meteorological Monthly, 2005, 31(2): 8-11.
- [6] Zhao G P, Chen N, Wang L X. An analysis of the potential impacts of ecological restoration on frequency and disaster reductions of sandstorm in the arid regions of the middle Ningxia. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(10): 2750-2756.
- [7] Huang F X, Zhang X S, Xu Y F. Simulating the effect of climate on the dust storm frequency in Mu Us sandland, north China. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(11): 1875-1884.
- [8] Liu Z L, Ma J W, Zhang G P, Zhou Z J. Remote sensing monitoring method and result for Asian dust storm-an example of China-Japan project regions. Editorial Board of Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2005, 30(8): 708-711.
- [9] Jiang X G, Shen J G, Hu Y H. The characteristics of mixed layer in the dust storm processes. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2004, 18(S1): 63-71.
- [10] Chen M, Xu J M, Shi H, Zhang G L. Shanghai "4.2" potential analysis of dust pollution. The fourth Yangtze River Delta Forum on Science and Technology Proceedings, 2007: 467-472.
- [11] Chen W B, Kuze H, Uchiyama A, Suzuki Y, Takeuchi N. One-year observation of urban mixed layer characteristics at Tsukuba, Japan using a micro pulse lidar. Atmospheric Environment, 2001, 35: 4273-4280.
- [12] He Q S, Mao J T. Observation of urban mixed layer at Beijing using a micro pulse lidar. Acta Meteorologica Sinica, 2005, 63(3): 374-384.
- [13] Qiu J H, Zheng S P, Huang Q R, Xia Q L, Yang L Q, Wang W M, Pan J D, Sun J H. Lidar measurements of cloud and aerosol in the upper troposphere in Beijing. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2003, 27(1): 1-7.
- [14] Liu C, Ming H, Wang P, Xie J P, Yang H, Zhao N J, Xie P H, Takeuchi N, Koike T. Measurements of the aerosol over Naqu of Tibet and suburb of Beijing by micro pulse lidar (MPL). Acta Photonica Sinica, 2006, 35(9): 1432-1439.
- [15] Huang J P, Huang Z W, Bi J R, Zhang W, Zhang L. Micro-pulse lidar measurements of aerosol vertical structure over the Loess Plateau. Atmospheric and Oceanic Science Letters, 2008, 1(1): 8-11.
- [16] Guo B J, Liu L, Huang D P, Wang L L, Li X L. Analysis of lidar measurements from a dust event. Meteorological Monthly, 2008, 34(5): 52-57.
- [17] Yi L, Yang D X, Chen W Z, Zhang H. Measurements of Asian dust optical properties over the Yellow Sea of China by shipboard and ground-based

photometers, along with satellite remote sensing: a case study of the passage of a frontal system during April 2006. Journal of Geophysical Research, 2010, 115(4), doi: 10.1029/2009JD012684.

- [18] Fernald F G. Analysis of atmospheric lidar observations: some comments. Applied Optics, 1984, 23(5): 652-653.
- [19] Sasnao Y. Tropospheric aerosol extinction coefficient profiles derived from scanning lidar measurements over Tsukuba, Japan, from 1990 to 1993.
 Applied Optics, 1996, 35(24): 4941-4952.
- [20] Takamura T, Sasnao Y. Aerosol optical Properties inferred from simultaneous lidar, aerosol-counter, and sun photo meter measurements. Journal of the Meteorological Society Japan, 1990, 68: 729-739.
- [21] Gatari M J, Boman J. Black carbon and total carbon measurements at urban and rural sites in Kenya, East Africa. Atmospheric Environment, 2003, 37(8): 1149-1154.
- [22] Wu D, Mao J T, Deng X J, Tie X X, Zhang Y H, Zeng L M, Li F, Tan H B, Bi X Y, Huang X Y, Chen J, Deng T. Black carbon aerosols and their radiative properties in the Pearl River Delta region. Sci China Ser D-Earth Sci, 2009, 52(8):1152-1163, doi:10.1007/s11430-009-0115-y

参考文献:

- [1] 邱金桓, 孙金辉. 沙尘暴的光学遥感及分析. 大气科学, 1994, 18(1): 1-10.
- [2] 马井会,张华,郑有飞,孙治安.沙尘气溶胶光学厚度的全球分布及分析.气候与环境研究,2007,12(2):156-164.
- [3] 颜鹏,毛节泰,杨东贞,刘桂清,朱爱华,俞向明,刘国平.临安一次沙尘暴过程影响气溶胶物理化学特性演变的初步分析.第四纪研究,2004,24(4):437-446.
- [4] 陈永桥,张逸,张晓山.北京城乡结合部气溶胶中水溶性离子粒径分布和季节变化.生态学报,2005,25(12):3231-3236.
- [5] 张仁健, 徐永福, 韩志伟. 北京春季沙尘暴的近地面特征. 气象, 2005, 31(2): 8-11.
- [6] 赵光平,陈楠,王连喜.宁夏中部干旱带生态恢复对沙尘暴的降频与减灾潜力分析.生态学报,2005,25(10):2750-2756.
- [7] 黄富祥,张新时,徐永福. 毛乌素沙地气候因素对沙尘暴频率影响作用的模拟研究. 生态学报, 2001, 21(11): 1875-1884.
- [8] 刘志丽,马建文,张国平,周自江.亚洲沙尘暴的遥感监测方法研究—以中国日本合作研究区为例.武汉大学学报:信息科学版,2005, 30(8):708-711.
- [9] 姜学恭, 沈建国, 胡英华. 沙尘暴过程中的混合层特征. 干旱区资源与环境, 2004, 18(增刊): 63-71.
- [10] 陈敏, 许建明, 施红, 张国琏. 上海"4·2"浮尘污染天气潜势分析. 第四届长三角气象科技论坛, 2007: 467-472.
- [12] 贺千山,毛节泰.北京城市大气混合层与气溶胶垂直分布观测研究.气象学报,2005,63(3):374-384.
- [13] 邱金桓,郑斯平,黄其荣,夏其林,杨理权,王文明,潘继东,孙金辉.北京地区对流层中上部云和气溶胶的激光雷达探测.大气科学, 2003,27(1):1-7.
- [14] 刘诚,明海,王沛,谢建平,杨辉,赵南京,谢品华,竹内延夫,小池俊雄.西藏那曲与北京郊区对流层气溶胶的微脉冲激光雷达测量. 光子学报,2006,35(9):1435-1439.
- [16] 郭本军,刘莉,黄丹萍,王玲玲,李学立.激光雷达对一次沙尘天气探测与分析. 气象, 2008, 34(5): 52-57.
- [22] 吴兑,毛节泰,邓雪娇,铁学熙,张远航,曾立民,李菲,谭浩波,毕雪岩,黄晓莹,陈静,邓涛.珠江三角洲黑碳气溶胶及其辐射特性的观测研究.中国科学(D辑):地球科学,2009,39(11):1542-1553.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 4 February, 2012 (Semimonthly) **CONTENTS**

The influence of a reclamation project on the macrobenthos of an East Nanhui tidal flat
MA Changan, XU Linlin, TIAN Wei, et al (1007) Ecological health assessment of groundwater in the lower Liaohe River Plain using an ArcView-WOE technique
SUN Caizhi, YANG Lei (1016) Nitrogen flows in intensive "crop-livestock" production systems typically for the peri-urban area of Beijing
The simulation of leaf net photosynthic rates in different radiation in apple canopy
GAO Zhaoquan, FENG Shezhang, ZHANG Xianchuan, et al (1037) Phenological variation of typical vegetation types in northern Tibet and its response to climate changes
Soli moisture and temperature characteristics of forest-grassland ecotone in middle Qilian Mountains and the responses to
meteorological factors
Response of tree-ring width of <i>Pinus sylvestris</i> var. mongolica to climate change in Hulunbuir sand land, China CAO, lizi, et al. (1000)
Analysis of a dust case using lidar in Shanghai
water masses TIAN Fengge, XU Zhaoli (1097) Phenotypic traits of both larvae and juvenile <i>Crasstrea hongkongensis</i> and <i>C. gigas</i>
Inter-specific competition between <i>Prorocentrum donghaiense</i> and <i>Skeletonema costatum</i> LI Hui, WANG Jiangtao (1115)
Effects of initial biomass ratio on the interspecific competition outcome between three marine microalgae species
On the ecological amplitude of nitrate of Alexandrium tamarense at different initial phosphate concentrations in laboratory cultures
Time lag effects and rainfall redistribution traits of the canopy of natural secondary <i>Pinus tabulaeformis</i> on precipitation in the Qinling Mountains, China
a bimodal distribution pattern
Maxim. and the closely related Zygophyllum xanthoxylon (Bunge) Maxim. SHI Songli, WANG Yingchun, ZHOU Hongbing, et al (1163)
Antioxidant properties of four native grasses in Loess Plateau under drought stress
The effects of the addition of <i>Ceratobasidum stevensii</i> B6 and its growth on the soil microflora at a continuously cropped water- melon (<i>Citrullus lanatus</i>) site in China
Suitable habitat for the <i>Achnatherum splendens</i> community in typical steppe region of Inner Mongolia
Spatio-temporal variability of soil salinity and its relationship with the depth to groundwater in salinization irrigation district
Spatial heterogeneity of soil saturated hydraulic conductivity on a slope of the wind-water erosion crisscross region on the Loess Plateau LIU Chunli, HU Wei, JIA Hongfu, et al (1211)
Spatial and temporal variations of total nitrogen density in agricultural soils of the Songnen Plain Maize Belt ZHANG Chunhua, WANG Zongming, JU Weimin, et al (1220)
The evaluation system of strength of winterness in wheat
Life tables for experimental populations of <i>Frankliniella occidentalis</i> on 6 vegetable host plants
Effect of diet switch on turnover rates of tissue nitrogen stable isotopes in fish based on the enrichment-dilution approach
Recognition of important ecological nodes based on ecological networks analysis: A case study of urban district of Nanjing
Seasonal characteristics of CO_2 fluxes above urban green space in the Pearl River Delta, China
Simulation and evaluation of groundwater seepage in contaminated sites:case study of TuoCheng County
Review and Monograph Recent advances in welland degradation research
A review concerning nitrogen accumulation and leaching in agro-ecosystems of oasis
Discussion The diversity of the radio-resistant bacteria <i>Deinococcus radiodurans</i> TU Zhenli, FANG Lijing, WANG Jiagang (1318)
Effect of pruning measure on physiology character and soil waters of <i>Caragana korshinskii</i>

Scientific Note

《生态学报》2012年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大16开本,280页,国内定价70元/册,全年定价1680元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书 馆等订阅。

XX

通讯地址: 100085 北京海淀区双清路 18 号 电

E-mail: shengtaixuebao@ rcees. ac. cn

编辑部主任	孔红梅
-------	-----

执行编辑 刘天星 段 靖

址: www.ecologica.cn

话: (010)62941099; 62843362

生态学报 (SHENGTAI XUEBAO) (半月刊 1981年3月创刊) 第32卷第4期 (2012年2月) ACTA ECOLOGICA SINICA (Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 4 2012

编辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路18号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn
主 编 主 管 主 办	冯宗炜 中国科学技术协会 中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路18号 邮政编码:100085	Editor-in-chief Supervised by Sponsored by	FENG Zong-Wei China Association for Science and Technology Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出版	4 	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 发 行	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
ेन क	地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563
□ 购 国外发行 广告经营	至四合地邮向 中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Domestic Foreign	E-mail:journal@cspg.net All Local Post Offices in China China International Book Trading Corporation
许可证	示海上尚厂字第 8013 号		Add P. O. Box 399 Beijing 100044, China

国外发行代号 M670

定价 70.00 元