

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第8期

Vol.35 No.8

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

2012年春季京津冀地区一次沙尘暴天气过程中颗粒物的污染特征分析 刘庆阳, 刘艳菊, 赵强, 张婷婷, 张美根, 王存美 (2843)

杭州灰霾天气超细颗粒浓度分布特征 陈秋方, 孙在, 谢小芳 (2851)

气象因素对广州市大气中二噁英污染特征的影响 杜国勇, 苏原, 任明忠, 张素坤, 青宪 (2857)

龙凤山本底站大气 CO₂ 数据筛分及浓度特征研究 栾天, 周凌晔, 方双喜, 姚波, 王红阳, 刘钊 (2864)

区域传输对华东森林及高山背景点位大气污染物浓度的影响 苏彬彬, 许榕洋, 张若宇, 纪贤鑫 (2871)

天津市夏季蜂窝状溶蚀器涂层溶液浓度确定的实验研究 张诗建, 姬亚芹, 张雷波, 赵雪艳, 朱振宇, 杨文 (2878)

铅锌冶炼厂不同工艺铅元素粒径分布特征 梁俊宁, 李文慧, 葛毅, 陈洁, 宋丽娜, 刘杰 (2883)

KI 改性黏土脱除烟气中单质汞的研究 沈伯雄, 陈建宏, 蔡记, 何川, 李卓 (2890)

污泥直接干化产生的恶臭及挥发性有机物特征研究 陈文和, 邓明佳, 罗辉, 张婧赢, 丁文杰, 刘俊新, 李琳 (2897)

基于风险管理的区域(流域)地下水污染预警方法研究 白利平, 王业耀, 郭永丽, 周友亚, 刘俐, 颜增光, 李发生 (2903)

1980~2010年浙江某典型河流硝态氮通量对净人类活动氮输入的动态响应 张柏发, 陈丁江 (2911)

南京仙林新市区土地利用结构与格局对湿地水环境氮、磷影响研究 蔡春晓, 刘红玉, 李玉凤, 王聪, 侯明行 (2920)

三江平原典型沼泽湿地养分累积与沉积特征 李瑞利, 柴民伟, 邱国玉, 石福臣, Sasa Kaichiro (2928)

岩溶地下河流域表层土壤多环芳烃污染特征及来源分析 蓝家程, 孙玉川, 师阳, 徐昕, 袁道先, 胡宁 (2937)

亚热带典型岩溶区地表流水文地球化学昼夜变化及其影响因素研究 张陶, 蒲俊兵, 袁道先, 章程, 何师意, 于爽, 刘文, 莫雪, 周建超, 杨会, 唐伟 (2944)

藏南干旱区湖泊及地热水体氢氧同位素研究 肖可, 沈立成, 王鹏 (2952)

广西五里峡水库夏季溶解无机碳行为的初步研究 刘文, 蒲俊兵, 于爽, 章程, 区绎如, 袁道先, 杨会, 唐伟 (2959)

铜陵相思河流域重金属分布特征研究 陈莉薇, 徐晓春, 王军, 陈芳 (2967)

不同压力作用下太湖蓝藻气囊体积分数及上浮特性研究 王巍, 丛海兵, 徐亚军, 陈雯婧, 徐思涛, 吴军, 蒋新跃 (2974)

酸性条件下Ti(IV)催化 O₃/H₂O₂ 降解邻苯二甲酸二甲酯 高燕, 沈佟栋, 陈尧, 周慧华, 童少平 (2980)

无机离子与胡敏酸对零价铁去除水中Pb(II)、Hg(II)的影响 施秋伶, 周欣, 张进忠, 邱昕凯 (2985)

羟基磷灰石-四氧化三铁-沸石复合材料制备及去除水中刚果红研究 方巧, 林建伟, 詹艳艳, 杨孟娟, 郑雯婧 (2992)

不锈钢201、304和316L在模拟污水管道反应器中的腐蚀 鲍国栋, 左剑丞, 王雅娇, 于里 (3002)

微滤过程中腐殖酸与膜表面黏附特性的试验研究 王磊, 王磊, 黄丹曦, 王旭东 (3007)

不同类型LDHs对垂直流人工湿地无烟煤基质的覆膜改性及其脱氮效果研究 张翔凌, 郭露, 陈俊杰, 刘小婷, 徐璐, 陈巧珍, 王晓晓 (3012)

SPG膜曝气-基因工程菌生物膜反应器处理阿特拉津废水研究 刘春, 龚鹏飞, 肖太民, 张明, 年永嘉, 杨景亮, 张晶 (3018)

SPG膜微气泡曝气生物膜反应器运行性能影响因素研究 张磊, 张明, 刘春, 张静, 刘俊良 (3024)

曝气膜生物反应器运行过程中污泥活性特征变化及其对膜污染的影响 陈烜, 汤兵, 张姿, 宾丽英, 黄绍松, 付丰连, 邱兵 (3031)

限量曝气进水时间对硝化颗粒污泥的影响特性研究 刘文如, 阴方芳, 王建芳, 沈耀良 (3038)

UASBB厌氧氨氧化反应器处理污泥脱水液的影响因素研究 李亚峰, 马晨曦, 张驰 (3044)

开封周边地区地表灰尘中汞背景值及其应用 陈彦芳, 马建华, 董运武, 刘德新, 陈星 (3052)

北京市幼儿园地面尘中有毒金属浓度及其健康风险 段恒轶, 吴亚涛, 王珏, 刘兆荣 (3060)

珠三角电子垃圾和城市地区家庭灰尘中多氯联苯的来源及暴露风险 朱智成, 陈社军, 丁南, 王璟, 罗孝俊, 麦碧娟 (3066)

温带典型草原土壤总有机碳及溶解性有机碳对模拟氮沉降的响应 齐玉春, 彭琴, 董云社, 肖胜生, 孙良杰, 刘欣超, 何亚婷, 贾军强, 曹丛丛 (3073)

不同肥料种类对稻田红壤碳氮淋失的影响 刘希玉, 邹敬东, 徐丽丽, 张心昱, 杨风亭, 戴晓琴, 王忠强, 孙晓敏 (3083)

低分子有机酸对土壤中Cu化学形态的影响 黄国勇, 付庆灵, 朱俊, 万田英, 胡红青 (3091)

EDTA与柠檬酸复配洗修多重金属污染土壤效果研究 尹雪, 陈家军, 蔡文敏 (3096)

不同生态系统土壤生化特征及其与土壤呼吸和N₂O排放的关系 陈玲, 范会, 蒋静艳 (3102)

黄河口不同恢复阶段湿地土壤N₂O产生的不同过程及贡献 孙文广, 孙志高, 甘卓亭, 孙万龙, 王伟 (3110)

猪粪化肥配施对双季稻田CH₄和N₂O排放及其全球增温潜势的影响 王聪, 沈健林, 郑亮, 刘杰云, 秦红灵, 李勇, 吴金水 (3120)

我国北方两地环境臭氧浓度对矮菜豆生长的影响 袁相洋, 张巍巍, 孙敬松, 胡恩柱, 张玉龙, 张红星, 田媛, 冯兆忠 (3128)

丛枝菌根影响纳米ZnO对玉米的生物效应 王卫中, 王发园, 李帅, 刘雪琴 (3135)

丛枝菌根对翅荚木生长及吸收累积重金属的影响 李霞, 彭霞薇, 伍松林, 李志茹, 冯红梅, 江泽平 (3142)

含磷物质对水稻吸收土壤砷的影响 雷鸣, 曾敏, 廖柏寒, 胡立琼, 周航, 龙水波 (3149)

重金属铬(VI)的生态毒性及其土壤环境基准 王晓南, 刘征涛, 王婉华, 张聪, 陈丽红 (3155)

维生素B₁₂对脱氮功能蓝藻降解2,4,4'-三氯联苯的促进作用研究 刘嘉裕, 肖文丰, 鲁莉萍, 张杭君 (3162)

己烯雌酚降解菌株沙雷氏菌的分离鉴定及其降解特性 徐冉芳, 孙敏霞, 刘娟, 汪泓, 李欣, 朱雪竹, 凌婉婷 (3169)

多溴联苯醚在市场鲫鱼体内分布和食鱼暴露量 王俊霞, 王春艳, 刘莉莉, 周啸宇, 刘洋成, 林匡飞 (3175)

稀有鮐鲫HMGR基因全长克隆及雌鱼经五氯酚暴露基因表达的分析 邓川, 毛思予, 熊力, 张晓峰, 李伟, 高香, 刘秋萍, 陈韵, 刘堰 (3183)

藻细胞和高岭土的存在对病毒MS2存活的影响 何强, 吴庆庆, 马红芳, 周真明, 苑宝玲 (3192)

多胺功能化介孔炭对Pb(II)的吸附动力学与机制 李坤权, 王艳锦, 杨美蓉, 朱志强, 郑正 (3198)

生物活性炭投加量对垃圾渗滤液处理效果的影响 崔延瑞, 郭焱, 吴青, 马罗丹, 孙剑辉, 崔凤灵 (3206)

经济结构调整的污染减排效应:以COD减排为例 李名升, 周磊, 陈远航, 李茜, 张建辉 (3212)

中国铅流改变原因分析 马兰, 毛建素 (3219)

放牧阉牦牛提前出栏甲烷排放强度减排潜力探讨 汪诗平, Andreas Wilkes, 汪亚运, 白玲 (3225)

中国水体硝酸盐氮氧双稳定同位素溯源研究进展 徐志伟, 张心昱, 于贵瑞, 孙晓敏, 温学发 (3230)

《环境科学》征稿简则(2936) 《环境科学》征订启事(3051) 信息(2882,2927,3059,3218)

我国北方两地环境臭氧浓度对矮菜豆生长的影响

袁相洋^{1,2}, 张巍巍³, 孙敬松², 胡恩柱², 张玉龙², 张红星², 田媛¹, 冯兆忠^{2*}

(1. 北京工商大学食品学院, 北京 100048; 2. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085; 3. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 哈尔滨 150081)

摘要: 地表臭氧对植物具有显著毒害作用, 矮菜豆 (*Phaseolus vulgaris* L.) 已被证实对臭氧非常敏感. 选用对臭氧敏感性不同的矮菜豆 (R123, 臭氧耐受性及 S156, 臭氧敏感性) 分别在 3 个地点 (北京昌平、北京生态中心、哈尔滨市) 进行室外直接暴露实验, 旨在探讨当前环境臭氧浓度对矮菜豆生长的影响. 结果表明, 生态中心和昌平两地菜豆在当前臭氧浓度下叶片都出现严重臭氧损伤症状, 整个生长季 S156 型菜豆平均臭氧损伤比例比 R123 型菜豆高 23.5%; 臭氧损伤自开花期开始, 开花期至结荚期损伤加剧, 在豆荚成熟期臭氧损伤比例达到最大值. 豆荚产量对比发现, 昌平和生态中心两地 S156 型与 R123 型豆荚产量比值分别为 0.48 和 0.24, 哈尔滨地区为 0.73, 二者比值为 1 视为生长不受臭氧影响. 可见, 北京地区较高的环境臭氧浓度已使敏感性作物矮菜豆显著减产.

关键词: 环境臭氧; 矮菜豆; 损伤; 豆荚产量; 基因型; 北京; 哈尔滨

中图分类号: X171.5 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)08-3128-07 DOI: 10.13227/j.hjkk.2014.08.041

Influence of Ozone on Snap Bean Under Ambient Air in Two Sites of Northern China

YUAN Xiang-yang^{1,2}, ZHANG Wei-wei³, SUN Jing-song², HU En-zhu², ZHANG Yu-long², ZHANG Hong-king², TIAN Yuan¹, FENG Zhao-zhong²

(1. School of Food, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China; 2. State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 3. Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Harbin 150081, China)

Abstract: Tropospheric ozone (O_3) has been assumed the most phytotoxic air pollutant and the snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is known to be an ozone-sensitive species. Two genotypes (R123, ozone-tolerance, S156, ozone-sensitivity) of snap bean were explored in three places. The objective of this study was to evaluate whether the snap bean was influenced under the current ambient ozone concentration. The findings indicated that the leaves of bean grown at Research Center for Eco-Environmental Sciences (RCEES), Chinese Academy of Sciences and ChangPing showed visible ozone symptoms under the ambient ozone concentration, and the averaged ozone injury proportion in S156 was 23.5% higher than R123 during the entire growth season. The ozone damage to the snap bean depends on the plant growing stages. The injury symptoms appeared just after flowering, increased from the stages of flowering to pod formation, and reached the maximum at the stages of pod maturation. The ratio of S156/R123 in pod yield was 0.48, and 0.24 and 0.73 in the RCEES, ChangPing and Harbin, respectively. The ratio close to 1 was assumed that the plant growth is not affected by ozone, and the lower ratio is, the more damage caused by ozone. Obviously, the current ambient ozone concentration of Beijing area has significantly caused the yield loss of snap bean.

Key words: ambient ozone; snap bean; injury; pod yield; genotype; Beijing; Harbin

近地层臭氧是目前最主要的大气污染物,它对世界上大多数植物和农业生产都有负作用^[1~5]. 近年来随着化石燃料的大量燃烧及汽车尾气的大量排放,致使臭氧前体物质氮氧化物和 VOCs 的排放量显著增加. IPCC(联合国政府间气候变化专门委员会)报道地表臭氧浓度在过去的几十年里以每年 0.5%~2% 的速度不断上升^[6,7]. 目前北半球近地层臭氧浓度夏季 8 h 的平均值已达到 50 nL·L⁻¹^[8]. 我国近地层 O₃ 浓度增加较快,夏季平均监测浓度已达到 50~60 nL·L⁻¹^[9].

已有的研究显示:日益升高的臭氧浓度可对植

物引起一系列负作用,如植物叶片出现可见或不可见的伤害症状,降低光合作用速率,影响碳分配,减少生物量积累,加速衰老,减少产量,改变籽粒品质等^[10~12],但这种影响程度因物种或品种而异. 目前关于臭氧对植物影响的研究大多是通过开顶箱装置展开的,但气室的壁垒效应(如气室内温度比外界高、湿度较低)使得研究结果具有很多不确定性,并

收稿日期: 2014-01-12; 修订日期: 2014-03-01

基金项目: 中国科学院“百人计划”项目

作者简介: 袁相洋(1990~),男,硕士研究生,主要研究方向为环境生态学, E-mail: windy_yuan0904@126.com

* 通讯联系人, E-mail: fzz@rcees.ac.cn

不能真实反映作物实际生长情况。然而,大田环境直接暴露更能反映出作物对 O₃ 浓度升高的响应过程。

大量研究已证实矮菜豆(*Phaseolus vulgaris* L.) 是臭氧敏感性作物^[13]。通过基因杂交培育出来的不同品系同种属菜豆 S156(臭氧敏感性)和 R123(臭氧耐受性)拥有更加宽泛的臭氧响应范围。在低浓度臭氧下,S156 和 R123 型菜豆的品系表达并没有差异,但随着臭氧浓度的提升,敏感性品系 S156 对于臭氧愈加敏感,表现为 S156 型菜豆的豆荚个数和生物量会逐渐低于耐受性品系 R123 型菜豆^[14,15]。研究表明,生物量或产量的 S156/R123 比值大小可准确反映了矮菜豆是否受到臭氧的影响,即比值接近 1,表示臭氧对矮菜豆不影响,如果小于 1,则表示臭氧影响了其生长,这种影响程度随着比值的变小而加重^[16~20]。在此基础上,欧洲中部、南部地区自 2008 年已经开始将矮菜豆作为地表臭氧污染的生物指示植物^[21~25],而国内还没有开展这方面的研究。因此,本研究以矮菜豆为例,比较分析了当前臭氧浓度下对不同基因型菜豆生长的影响,探讨北京和哈尔滨地区当前环境臭氧浓度下矮菜豆叶片损伤及产量差异,以期为评价当前环境空气污染对国内作物产量损失的区域性影响提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验地点

鉴于人力、物力、实验可行性的基础上,实验选取 3 个地点同时进行,分别为北京市市区的中国科学院生态环境研究中心(生态中心)、北京市郊昌平区马池口镇昌平种子基地(昌平),哈尔滨市区的中国科学院东北地理与农业生态研究所(哈尔滨)。前两者地处中国中东部地区北京市(N39°4′~41°6′,E115°7′~117°4′),大陆性季风气候,年降水量 644 mm,年平均气温 10~12℃,夏季平均气温 24~26℃,年平均日照时数在 2 000~2 800 h 之间,全年无霜期 180~200 d;后者地处中国东北北部地区哈尔滨市(N44°04′,E125°42′),属中温带大陆性季风气候,年平均降水量 553.5 mm,年平均气温 3~4℃,夏季平均气温 19~23℃,年平均日照时数 2 500 h,全年无霜期在 135~140 d。

1.2 实验作物

实验选用两种基因型矮菜豆(*Phaseolus vulgaris* L.)——分别为臭氧耐抗性(R123)和臭氧敏感性(S156)——它们是美国农业部农业研究所植物科学

研究中心进行筛选培育,由 Felicity Hays 博士提供。

1.3 实验设计

选取籽粒饱满、大小一致的种子,用 10% H₂O₂ 表面消毒后,再用蒸馏水冲洗干净。种子容积为 12~15 L 的 PVC 花盆内,每盆在距盆内中心 5 cm,深度 3 cm 处播种两粒,当植株生长稳定后间苗至 1 株。生态中心、昌平及哈尔滨实验分别开始于 6 月 10 日、6 月 14 日、6 月 26 日,结束于 9 月 26 日、9 月 28 日、9 月 10 日,出苗率分别为 100%、100%、99%。

实验采取室外直接暴露法。实验地区由防护网遮拦,防止鸟儿、兔子或其他小型哺乳动物啃食,每种基因型 12 盆重复处理。实验期间每两天浇水一次,避免植物生长期间的水分胁迫,施肥水平与当地常规水平一致,实验初期施用 N、P、K 比例为 17:17:17 的缓释肥,病虫害防治等为大田常规管理。

实验期间臭氧浓度由热电公司 Thermo 49i 臭氧分析仪监测,温湿度数据由 Campbell 公司 CS215 温湿度探头监测。

1.4 测定指标和计算方法

(1) 可见症状 对两种基因型菜豆出现的可见损伤进行记录。具体标准参照文献[26]。鉴于实验期间人力、物力的影响,无法完成三地每周臭氧评估数据的记录,故生长情况和可见损伤只考虑昌平和生态中心两地。规定记录的第一天为间苗后的第一天,哈尔滨地区实验只进行收获后产量的测定。

(2) 产量 在任一基因型菜豆 50% 豆荚变干或变棕色时收获菜豆,尽量保证两种基因型菜豆同时收获。收获时 < 2 cm 菜豆豆荚不进行收获或计数,收获计数后的豆荚经风干至恒重后称量,获取豆荚和籽粒干重,两种基因型菜豆产量比值作为评价臭氧对菜豆影响的主要依据。

(3) 损伤比例计算 记录每株植物上叶片总数、枯萎凋落叶片个数、受损伤叶片数,并单叶片损伤比例设置 1%~5%、5%~25%、>25% 这 3 个等级。损伤比例 = (每株植物受损伤的叶片百分比 × 受害叶片面积的平均百分比) / 100,参照文献[27]。

1.5 数据分析

运用 EXCEL 2010 进行数据整理,SPSS 18.0 进行相关性和方差分析,运用 Origin 8.0 进行绘图。

2 结果

2.1 臭氧浓度

从表 1 可以看出北京地区昌平和生态中心两

地,整个生长季 8 h 平均臭氧浓度相近. 但臭氧累积浓度 AOT40(小时臭氧浓度高于 $40 \text{ nL}\cdot\text{L}^{-1}$ 的差值的累积值)显示生态中心为 $22.7 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{h}$,比昌平高 44%. 哈尔滨地区 8 h 平均臭氧浓度和 AOT40 分别仅为 $29.2 \text{ nL}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $0.67 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{h}$,明显低于北京地区. 因此,把哈尔滨地区作为本研究的臭氧背景值区域.

表 1 菜豆生长季期间不同地点的臭氧浓度
Table 1 Ozone concentration at different sites during growing season of snap bean

臭氧浓度	昌平	生态中心	哈尔滨
8 h 平均浓度(9~17 h)/ $\text{nL}\cdot\text{L}^{-1}$	54.6	55.8	29.2
整个生长季 AOT40/ $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{h}$	15.8	22.7	0.67



图 1 菜豆生长状况

Fig. 1 Growth status of snap bean

2.2.2 叶片损伤

由图 2 可以看出,S156 型菜豆的臭氧损伤比例明显大于 R123 型菜豆,整个生长季生态中心和昌平的 S156 型菜豆平均臭氧损伤比例分别高出 R123 型菜豆 22% 和 25%. 从不同生育期的响应来看,菜豆臭氧损伤自开花期之后逐渐显露,其中 S156 型菜豆可见损伤明显,R123 型菜豆损伤响应较少. 开花期至豆荚形成期菜豆臭氧损伤比例直线上升,尤其 S156 型菜豆臭氧损伤平均值为 16%,而同一时期 R123 型菜豆平均损伤比例只有 6%,这一阶段是菜豆叶片损伤加剧的阶段;豆荚形成期到豆荚成熟阶段,臭氧损伤比例达到最大值,昌平和生态中心两地

2.2 菜豆生长及可见损伤

2.2.1 生长

从图 1 可以看出,在菜豆生长前期两种基因型菜豆生长状况并没有过多差异. 随着臭氧浓度的积累,S156 型菜豆生长逐渐受到影响,主要表现在叶片逐渐出现锈斑并随着时间的延长叶片逐步发黄干枯掉落,而 R123 型菜豆则茁壮成长. 实验记录显示整个生长季中 S156 型菜豆叶片较小,叶片数量比 R123 型菜豆少 15% 左右. 同时 S156 型菜豆臭氧抵抗性明显低于 R123 型菜豆,在实验后期大多数 S156 型菜豆叶片都呈现枯萎症状,但 R123 型菜豆依然保持碧绿. 在 R123 型菜豆变黄成熟之前,大多数 S156 型菜豆的叶片已经完全脱落.

S156 型菜豆与 R123 型菜豆损伤平均值之差分别为 34% 和 47%,此阶段是菜豆臭氧损伤最严重的阶段;在豆荚衰老期随着叶片的脱落,叶片的臭氧损伤比例呈现下降趋势,直至收获.

2.3 菜豆收获及产量评估

2.3.1 豆荚个数及豆荚干重

从单株豆荚数来看[图 3(a)],生态中心和昌平两地两种基因型单株菜豆的豆荚个数间的差异是显著的($P < 0.001$),哈尔滨地区二者差异不显著($P = 0.125$). 生态中心和昌平两地 S156 型菜豆单株荚数是 R123 型的 0.39 和 0.48 倍,但哈尔滨地区二者比值为 1.18. 从单株菜豆的豆荚总质

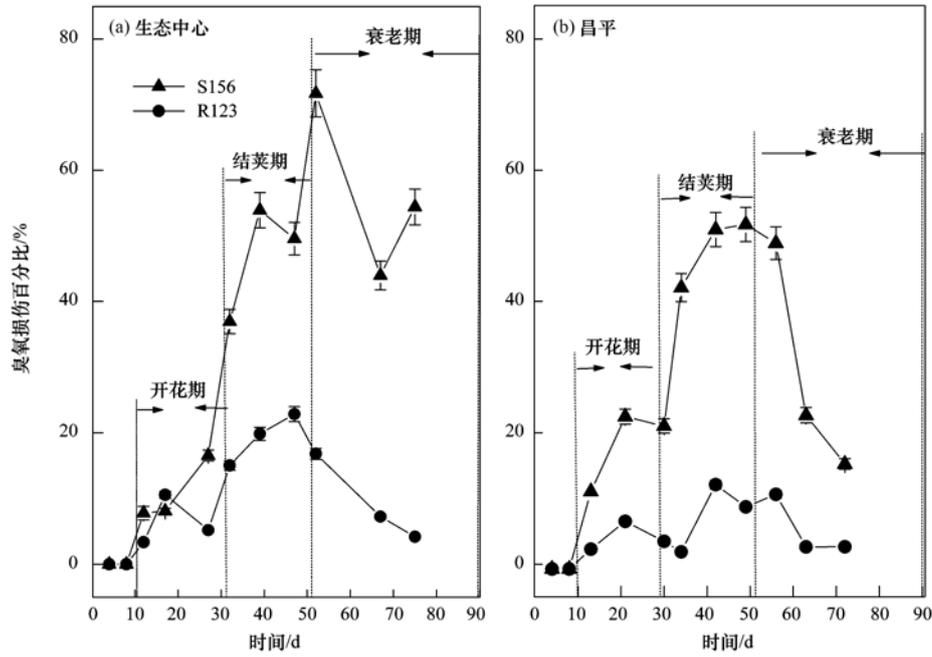
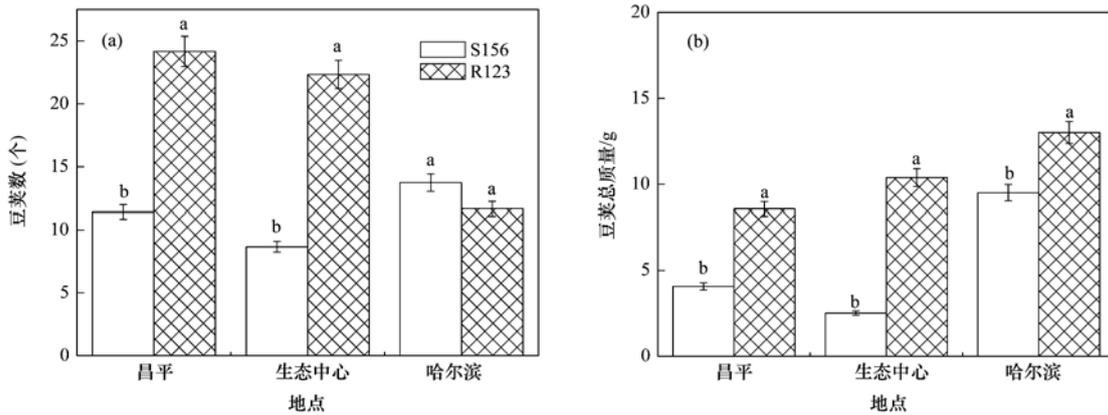


图2 矮菜豆生长期臭氧损伤百分比

Fig. 2 Ozone injury percentage during the growing season of snap bean



a, b 代表不同基因型差异显著 ($P < 0.05$), 下同

图3 单株豆荚个数及豆荚质量

Fig. 3 Number of pods and pods dry weight per plant

量来看[图 3(b)], 昌平、生态中心和哈尔滨地区的 S156 单株豆荚总质量仅为 R123 型的 0.48、0.24 和 0.73 倍。

2.3.2 豆粒干重

3 个地点的数据均显示, S156 型菜豆的籽粒产量显著低于 R123 型 [图 4(a)], 昌平、生态中心和哈尔滨地区 S156 型菜豆产量与 R123 型产量比值分别为 0.49、0.22 和 0.73。但两种基因型菜豆的单个籽粒重的差异依所在地区的不同而不同 [图 4(b)]。生态中心与哈尔滨两地 S156 型与 R123 型差异显著 ($P < 0.001$), 分别为 R123 型的 31% 和

16%。但昌平地区 S156 型菜豆单粒重比 R123 型菜豆单粒重低 15%, 但未达到显著水平 ($P = 0.28$)。

2.4 菜豆产量的 S156/R123 比值对比

由表 2 可知: 自 2005 ~ 2013 年国外研究中活性炭过滤空气实验中的臭氧平均浓度都小于 $30 \text{ nL}\cdot\text{L}^{-1}$, 室外暴露实验监测的臭氧平均浓度大都处在 $20 \sim 50 \text{ nL}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间, 而本研究显示北京地区 2013 年菜豆生长期臭氧平均浓度已达 $55 \text{ nL}\cdot\text{L}^{-1}$, 明显高于国外大多数城市的平均水平。国外臭氧平均浓度小于 $30 \text{ nL}\cdot\text{L}^{-1}$ 的实验中豆荚个数和豆荚质量 S156/R123 比值基本都大于 1, 臭氧平

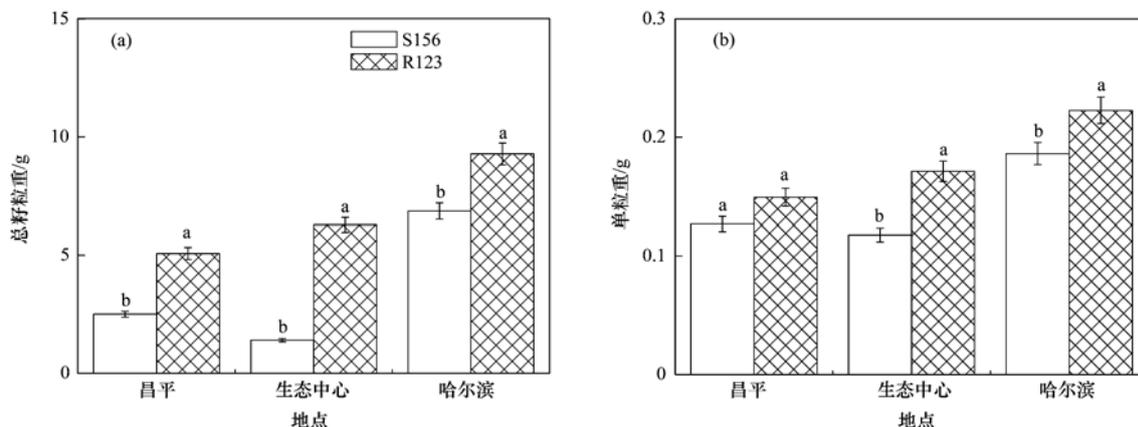


图4 单株产量及单粒重

Fig. 4 Seeds yield per plant and single seed weight

均浓度在 $30 \sim 50 \text{ nL} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间的实验中豆荚个数和豆荚质量 S156/R123 最小比值分别为 0.46 和 0.58, 同比国内臭氧暴露实验中无论豆荚个数还是

豆荚质量 S156/R123 比值都展现了比国外更低的数值, 甚至生态中心的豆荚质量 S156/R123 比值都比国外臭氧熏蒸还低。

表2 两种矮菜豆豆荚个数及豆荚产量比值研究清单¹⁾

Table 2 A review of effects of ambient ozone on the pod number and pod weight per plant of snap bean

国家	地点	处理 ¹⁾	臭氧平均浓度 $\text{/nL} \cdot \text{L}^{-1}$	豆荚个数 S156/R123	豆荚质量 S156/R123	文献
USA	Carolina	CF	23	0.99	—	[16]
		AA	48	0.46	—	
USA	Amherst	CF	30	1.36	—	[17]
USA	Carolina	AA	45	0.48	—	[18]
UK	Ascot	AA	24	—	1.36	
Belgium	Tervuren	AA	28	1.01	1.14	
UK	Bangor	AA	31	1.2	0.97	
Spain	Valencia	AA	49	0.7	0.58	[21 ~ 25]
Japan	Criepi	AA	47	0.69	—	
Italy	Pisa	AA	38	—	1.07	
Greece	Crete	AA	42	—	0.85	
USA	Carolina	AA	43	—	0.74	[19]
Italy	Rome	O ₃	59	—	0.38	[20]
		AA	40	0.9	0.63	
中国	哈尔滨	AA	29	1.18	0.73	
	昌平	AA	55	0.47	0.48	本研究
	生态中心	AA	56	0.39	0.24	

1) CF 为活性炭过滤空气; AA 为室外环境空气; O₃ 为臭氧熏蒸; “—”表示文章中没有相关数据

3 讨论

3.1 当前环境臭氧浓度下不同基因型菜豆叶片损伤差异明显

叶片是植物光合作用的重要器官, 臭氧会引起植物叶片细胞死亡, 加速衰老, 导致叶片出现变色病、坏死病等可见伤害症状^[28~30]. 本研究显示: 当前国内环境臭氧浓度已经对敏感性作物菜豆产生了明显的危害. 生态中心和昌平两地 S156 型菜豆在当前国内环境臭氧浓度下都出现了严重臭氧损伤,

R123 型菜豆虽然也出现了臭氧损伤, 但与 S156 型菜豆相比, R123 型菜豆叶片损伤比例明显偏低, 并且其出现臭氧损伤的时间晚于 S156.

此外, 臭氧对植物的损伤影响在植物生长的不同阶段是不同的. 从矮菜豆出苗至生殖生长期不同生长阶段, 其对于室外臭氧的响应具有显著差异性. 与前人研究相同^[31,32], 昌平和生态中心两地的实验都显示: 臭氧损伤自开花期开始, 开花期至结荚期损伤加剧, 在豆荚成熟期臭氧损伤比例达到最大值. 随后在豆荚衰老期, 臭氧损伤明显下降. 另外, 生态

中心和昌平两地不同基因型菜豆臭氧损伤曲线虽然都呈现相同趋势,但在豆荚形成时期,生态中心 S156 型菜豆及 R123 型菜豆臭氧损伤比例都高于昌平地区. 结合臭氧小时浓度的数据,发现生态中心因地处北京城区在夏天强烈阳光照射下汽车尾气排放的 NO_x 和 VOCs 物质发生反应使这段时间高臭氧浓度 ($> 60 \text{ nL}\cdot\text{L}^{-1}$) 的天数较多,致使生态中心菜豆叶片臭氧损伤比例达到最大,叶片遭受严重伤害.

3.2 当前环境臭氧浓度下不同基因型菜豆产量差异显著

臭氧引起植物叶片损伤之后,势必影响植物正常生长发育. 大量的研究显示,室外对照实验中生长的敏感性菜豆 S156 的豆荚个数和生物量明显低于耐受性菜豆 R123. 本实验证实当前国内环境臭氧浓度已经对敏感性作物菜豆产生了明显的危害,且在昌平、生态中心和哈尔滨三地的实验结果表明:不同基因型菜豆臭氧损伤情况及豆荚产量与当地环境臭氧浓度显著相关. 综合前人研究及 ICP-Vegetation (2009~2013) 报告^[21~25] (表 2) 结果,室外环境臭氧浓度大于 $40 \text{ nL}\cdot\text{L}^{-1}$ 就可造成菜豆减产. 生态中心和昌平高达 $55 \text{ nL}\cdot\text{L}^{-1}$ 的环境臭氧浓度已经超过国外大多数地区臭氧环境浓度 ($< 40 \text{ nL}\cdot\text{L}^{-1}$),甚至接近国外许多实验中的臭氧熏蒸水平,而平均值为 0.43 和 0.36 的豆荚个数和豆荚质量的 S156/R123 比值,也是已有的臭氧暴露实验中的较低值,表明在此地区菜豆受臭氧损伤非常严重. 位于中国东北地区的哈尔滨市其 $30 \text{ nL}\cdot\text{L}^{-1}$ 的环境臭氧浓度却与大多数国外研究中的过滤空气处理组 (CF) 相似. 相对于高臭氧浓度地区,哈尔滨地区臭氧浓度刚好处于植物受臭氧损伤的阈值之间 ($20 \sim 40 \text{ nL}\cdot\text{L}^{-1}$),导致豆荚个数和豆荚质量的 S156/R123 比值接近于 1.

当然,在欧洲不同气候条件及臭氧浓度下开展的菜豆田间暴露实验中,也有相关报道称豆荚产量的 S156/R123 与季节性臭氧浓度并没有明确的相关性^[34]. 尽管人们还无法准确解释臭氧敏感性的机制,但无论是叶片损伤还是生物量数据都显示在当前国内臭氧环境浓度下,敏感型菜豆产量在高臭氧浓度地区会大幅度降低.

4 结论

当前我国北方地区的环境臭氧浓度已经明显影响到了敏感性作物矮菜豆的生长,其臭氧伤害程度依据臭氧浓度、菜豆品系及菜豆生长阶段的不同而

有显著差别. 当然本文并没有考虑不同地区气候 (温度、蒸汽压、湿度) 对矮菜豆产量的影响,不同基因型菜豆豆荚产量的比值显得尤为重要. 未来的研究将进一步深化臭氧和气候因素相结合与不同基因型矮菜豆生长间的关系的同时,寻求中国本地的臭氧生物指示品种变得尤为必要.

参考文献:

- [1] Wahid A, Maggs R, Shamsi S R A, *et al.* Effects of air pollution on rice yield in the Pakistan Punjab [J]. *Environmental Pollution*, 1995, **90**(3): 323-329.
- [2] Ashmore M R. Assessing the future global impacts of ozone on vegetation [J]. *Plant, Cell and Environment*, 2005, **28**(8): 949-964.
- [3] Feng Z Z, Kobayashi K, Ainsworth E A. Impact of elevated ozone concentration on growth, physiology and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.): a meta-analysis [J]. *Global Change Biology*, 2008, **14**(11): 2696-2708.
- [4] Feng Z Z, Kobayashi K. Assessing the impacts of current and future concentrations of surface ozone on crop yield with meta-analysis [J]. *Atmospheric Environment*, 2009, **43**(8): 1510-1519.
- [5] Serengil Y, Augustaitis A, Bytnerowicz A, *et al.* Adaptation of forest ecosystems to air pollution and climate change: a global assessment on research priorities [J]. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 2011, **4**(4): 44-48.
- [6] Vingarzan R. A review of surface ozone background levels and trends [J]. *Atmospheric Environment*, 2004, **38**(21): 3431-3442.
- [7] Solomon S, Qin D, Manning M, *et al.* Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [R]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007.
- [8] Fiscus E L, Booker F L, Burkey K O. Crop responses to ozone: uptake, modes of action, carbon assimilation and partitioning [J]. *Plant, Cell and Environment*, 2005, **28**(8): 997-1011.
- [9] Wang X K, Manning W J, Feng Z W, *et al.* Ground-level ozone in China: Distribution and effects on crop yields [J]. *Environmental Pollution*, 2007, **147**(2): 394-400.
- [10] Morgan P B, Ainsworth E A, Long S P. How does elevated ozone impact soybean? A meta-analysis of photosynthesis, growth, and yield [J]. *Plant Cell and Environ*, 2003, **26**(8): 1317-1328.
- [11] 姚芳芳, 王效科, 冯兆忠, 等. Ethylenediurea (EDU) 对臭氧胁迫下菠菜急性伤害症状和光合特性的影响 [J]. *生态环境*, 2007, **16**(5): 1399-1405.
- [12] Biswas D K, Xu H, Li Y G, *et al.* Genotypic differences in leaf biochemical, physiological and growth responses to ozone in 20 winter wheat cultivars released over the past 60 years [J]. *Global Change Biology*, 2008, **14**(1): 46-59.
- [13] Krupa S, McGrath M T, Andersen C P, *et al.* Ambient ozone and plant health [J]. *Plant Disease*, 2001, **85**(1): 4-12.

- [14] Reinert R A, Eason G. Genetic control of O₃ sensitivity in a cross between two cultivars of snap bean [J]. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 2000, **125**(2): 222-227.
- [15] Burkey K O, Eason G. Ozone tolerance in snap bean is associated with elevated ascorbic acid in the leaf apoplast [J]. *Physiologia Plantarum*, 2002, **114**(3): 387-394.
- [16] Burkey K O, Miller J E, Fiscus E L. Assessment of ambient ozone effects on vegetation using snap bean as a bioindicator species [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2005, **34**(3): 1081-1086.
- [17] Elagoz V, Manning W J. Responses of sensitive and tolerant bush beans (*Phaseolus vulgaris* L.) to ozone in open-top chambers are influenced by phenotypic differences, morphological characteristics, and the chamber environment [J]. *Environmental Pollution*, 2005, **136**(3): 371-383.
- [18] Flowers M D, Fiscus E L, Burkey K O, *et al.* Photosynthesis, chlorophyll fluorescence, and yield of snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes differing in sensitivity to ozone [J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2007, **61**(2): 190-198.
- [19] Burkey K O, Booker F L, Ainsworth E A. Field assessment of a snap bean ozone bioindicator system under elevated ozone and carbon dioxide in a free air system [J]. *Environmental Pollution*, 2012, **166**: 167-171.
- [20] Salvatori E, Fusaro L, Mereu S, *et al.* Different O₃ response of sensitive and resistant snap bean genotypes (*Phaseolus vulgaris* L.): The key role of growth stage, stomatal conductance, and PSI activity [J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2013, **87**: 79-91.
- [21] Harmens H, Mills G, Hayes F, *et al.* ICP Vegetation Annual Report 2008/2009 [R]. Programme Coordination Centre for the ICP Vegetation, Centre for Ecology and Hydrology, Bangor, UK, 2009. 26-27.
- [22] Harmens H, Mills G, Hayes F, *et al.* ICP Vegetation Annual Report 2009/2010 [R]. Programme Coordination Centre for the ICP Vegetation, Centre for Ecology and Hydrology, Bangor, UK, 2010. 9-11.
- [23] Harmens H, Mills G, Hayes F, *et al.* ICP Vegetation Annual Report 2010/2011 [R]. Programme Coordination Centre for the ICP Vegetation, Centre for Ecology and Hydrology, Bangor, UK, 2011. 10-12.
- [24] Harmens H, Mills G, Hayes F, *et al.* ICP Vegetation Annual Report 2011/2012 [R]. Programme Coordination Centre for the ICP Vegetation, Centre for Ecology and Hydrology, Bangor, UK, 2012. 20-21.
- [25] Harmens H, Mills G, Hayes F, *et al.* ICP Vegetation Annual Report 2012/2013 [R]. Programme Coordination Centre for the ICP Vegetation, Centre for Ecology and Hydrology, Bangor, UK, 2013. 31-32.
- [26] ICP Vegetation. 2012 Yield response and ozone injury on *Phaseolus vulgaris*. L: Experimental protocol [R]. ICP Vegetation Programme Coordination Centre, CEH, Bangor, UK, 2012.
- [27] Calatayud V, Cervero J, Sanz M J. Foliar, physiological and growth responses of four maple species exposed to ozone [J]. *Water, Air, and Soil Pollution*, 2007, **185**(1-4): 239-254.
- [28] Miller J E, Booker F L, Fiscus E L, *et al.* Ultraviolet-B radiation and ozone effects on growth, yield, and photosynthesis of soybean [J]. *Journal of Environmental Quality*, 1994, **23**(1): 83-91.
- [29] Guidi L, Di Cagno R, Soldatini G F. Screening of bean cultivars for their response to ozone as evaluated by visible symptoms and leaf chlorophyll fluorescence [J]. *Environmental Pollution*, 2000, **107**(3): 349-355.
- [30] Booker F, Muntifering R, McGrath M, *et al.* The ozone component of global change: potential effects on agricultural and horticultural plant yield, product quality and interactions with invasive species [J]. *Journal of Integrative Plant Biology*, 2009, **51**(4): 337-351.
- [31] Tingey D T, Rodecap K D, Lee E H, *et al.* Pod development increases the ozone sensitivity of *Phaseolus vulgaris* [J]. *Water, Air and Soil Pollution*, 2002, **139**(1-4): 325-341.
- [32] Bassin S, Volk M, Fuhrer J. Factors affecting the ozone sensitivity of temperate European grasslands: an overview [J]. *Environmental Pollution*, 2007, **146**(3): 678-691.
- [33] De Bock M, Ceulemans R, Horemans N, *et al.* Photosynthesis and crop growth of spring oilseed rape and broccoli under elevated tropospheric ozone [J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2012, **82**: 28-36.
- [34] Fiscus E L, Booker F L, Sadok W, *et al.* Influence of atmospheric vapour pressure deficit on ozone responses of snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes [J]. *Journal of Experimental Botany*, 2012, **63**(7): 2557-2564.

CONTENTS

Chemical Characteristics in Airborne Particulate Matter (PM ₁₀) During a High Pollution Spring Dust Storm Episode in Beijing, Tianjin and Zhangjiakou, China	LIU Qing-yang, LIU Yan-ju, ZHAO Qiang, <i>et al.</i> (2843)
Distribution of Atmospheric Ultrafine Particles During Haze Weather in Hangzhou	CHEN Qiu-fang, SUN Zai, XIE Xiao-fang (2851)
Effect of Meteorological Factors on Characteristics of PCDD/F Pollution in Guangzhou	DU Guo-yong, SU Yuan, REN Ming-zhong, <i>et al.</i> (2857)
Atmospheric CO ₂ Data Filtering Method and Characteristics of the Molar Fractions at the Longfengshan WMO/GAW Regional Station in China	LUAN Tian, ZHOU Ling-xi, FANG Shuang-xi, <i>et al.</i> (2864)
Influence of Atmospheric Transport on Air Pollutant Levels at a Mountain Background Site of East China	SU Bin-bin, XU Ju-yang, ZHANG Ruo-yu, <i>et al.</i> (2871)
Determining the Concentration of Coating Solution Attaching to Honeycomb Denuder in Summer in Tianjin	ZHANG Shi-jian, JI Ya-qin, ZHANG Lei-bo, <i>et al.</i> (2878)
Characterization of Lead Size Distributions with Different Process in Lead-Zinc Smelter	LIANG Jun-ning, LI Wen-hui, GE Yi, <i>et al.</i> (2883)
Effect of KI Modified Clay on Elemental Mercury Removal Efficiency	SHEN Bo-xiong, CHEN Jian-hong, CAI Ji, <i>et al.</i> (2890)
Characteristics of Odors and VOCs from Sludge Direct Drying Process	CHEN Wen-he, DENG Ming-jia, LUO Hui, <i>et al.</i> (2897)
Research of Early-warning Method for Regional Groundwater Pollution Based on Risk Management	BAI Li-ping, WANG Ye-yao, GUO Yong-li, <i>et al.</i> (2903)
Dynamic Response of Riverine Nitrate Flux to Net Anthropogenic Nitrogen Inputs in A Typical River in Zhejiang Province over the 1980-2010 Period	ZHANG Bai-fa, CHEN Ding-jiang (2911)
Research on the Influence of Urban Land Use Structure and Pattern on Nitrogen, Phosphorus of Wetland Water Environment in Xianlin New Town of Nanjing	CAI Chun-xiao, LIU Hong-yu, LI Yu-feng, <i>et al.</i> (2920)
Profile Nutrient Distribution and Sedimentary Characteristics in Typical Marshes of Sanjiang Plain	LI Rui-li, CHAI Min-wei, QIU Guo-yu, <i>et al.</i> (2928)
Source and Contamination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Soil in Karst Underground River Basin	LAN Jia-cheng, SUN Yu-chuan, SHI JIAN, <i>et al.</i> (2937)
Diel Variations of Hydrochemistry and Influencing Factors in a Surface Stream in Subtropical Karst Area, SW China	ZHANG Tao, PU Jun-bing, YUAN Dao-xian, <i>et al.</i> (2944)
Hydrogen and Oxygen Isotopes of Lake Water and Geothermal Spring Water in Arid Area of South Tibet	XIAO Ke, SHEN Li-cheng, WANG Peng (2952)
Preliminary Research on the Feature of Dissolved Inorganic Carbon in Wulixia Reservoir in Summer, Guangxi, China	LIU Wen, PU Jun-bing, YU Shi, <i>et al.</i> (2959)
Distribution of Heavy Metals in Xiangsi River Valley of Tongling, China	CHEN Li-wei, XU Xiao-chun, WANG Jun, <i>et al.</i> (2967)
Volume Fraction of Gas Vesicle and Floating Characteristics of Cyanobacteria in Taihu Lake Under Different Pressures	WANG Wei, CONG Hai-bing, XU Ya-jun, <i>et al.</i> (2974)
Degradation of Dimethyl Phthalate by Ti(IV)-catalyzed O ₃ /H ₂ O ₂ Under Acidic Conditions	GAO Yan, SHEN Tong-dong, CHEN Yao, <i>et al.</i> (2980)
Influence of Inorganic Ions and Humic Acid on the Removal of Pb(II) and Hg(II) in Water by Zero-Valent Iron	SHI Qiu-ling, ZHOU Xin, ZHANG Jin-zhong, <i>et al.</i> (2985)
Synthesis of Hydroxyapatite/Magnetite/Zelite Composite for Congo Red Removal from Aqueous Solution	FANG Qiao, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, <i>et al.</i> (2992)
Corrosion of Stainless Steel 201, 304 and 316L in the Simulated Sewage Pipes Reactor	BAO Guo-dong, ZUO Jian-e, WANG Ya-jiao, <i>et al.</i> (3002)
Experimental Study of Adhesion Properties Between Membrane Surface and Humic Acid During Microfiltration	WANG Lei, WANG Lei, HUANG Dan-xi, <i>et al.</i> (3007)
Coating Modification of Anthracite Substrates in Vertical-flow Constructed Wetlands by LDHs Synthesized from Different Metal Compounds and the Nitrogen Removal Efficiencies	ZHANG Xiang-ling, GUO Lu, CHEN Jun-jie, <i>et al.</i> (3012)
Atrazine Wastewater Treatment in a SPG Membrane-Aerated Genetically Engineered Microorganism Biofilm Reactor	LIU Chun, GONG Peng-fei, XIAO Tai-min, <i>et al.</i> (3018)
Influencing Factors for Operational Performance of a Biofilm Reactor with Microbubble Aeration Using SPG Membrane	ZHANG Lei, ZHANG Ming, LIU Chun, <i>et al.</i> (3024)
Variations in the Active Characteristics of Sludge During the Operation of an Aerobic Membrane Bioreactor and Their Effects on Membrane Fouling	CHEN Xuan, TANG Bing, ZHANG Zi, <i>et al.</i> (3031)
Effects of Anaerobic Feeding Period on Nitrifying Granular	LIU Wen-ru, YIN Fang-fang, WANG Jian-fang, <i>et al.</i> (3038)
Influencing Factors of Sludge Liquor Treatment in UASBB	LI Ya-feng, MA Chen-xi, ZHANG Chi (3044)
Background Values of As and Hg in Surface Dusts in the Vicinity of Kaifeng City and Their Application	CHEN Yan-fang, MA Jian-hua, DONG Yun-wu, <i>et al.</i> (3052)
Concentrations and Health Risks of Toxic Metals in Surface Dust in Kindergartens of Beijing	DUAN Heng-yi, WU Ya-tao, WANG Jue, <i>et al.</i> (3060)
Polychlorinated Biphenyls in House Dust at an E-waste Site and Urban Site in the Pearl River Delta, Southern China; Sources and Human Exposure and Health Risks	ZHU Zhi-cheng, CHEN She-jun, DING Nan, <i>et al.</i> (3066)
Responses of Soil Total Organic Carbon and Dissolved Organic Carbon to Simulated Nitrogen Deposition in Temperate Typical Steppe in Inner Mongolia, China	QI Yu-chun, PENG Qin, DONG Yun-she, <i>et al.</i> (3073)
Effects of Different Fertilizer Species on Carbon and Nitrogen Leaching in a Reddish Paddy Soil	LIU Xi-yu, ZOU Jing-dong, XU Li-li, <i>et al.</i> (3083)
Effects of Low Molecular Weight Organic Acids on Speciation of Exogenous Cu in an Acid Soil	HUANG Guo-yong, FU Qing-ling, ZHU Jun, <i>et al.</i> (3091)
Evaluation of Compounding EDTA and Citric Acid on Remediation of Heavy Metals Contaminated Soil	YIN Xue, CHEN Jia-jun, CAI Wen-min (3096)
Soil Biochemical Characteristics in Different Ecological Systems and Their Relationships with Soil Respiration and N ₂ O Emission	CHEN Ling, FAN Hui, JIANG Jing-yan (3102)
Contribution of Different Processes in Wetland Soil N ₂ O Production in Different Restoration Phases of the Yellow River Estuary, China	SUN Wen-guang, SUN Zhi-gao, GAN Zhuo-ting, <i>et al.</i> (3110)
Effects of Combined Applications of Pig Manure and Chemical Fertilizers on CH ₄ and N ₂ O Emissions and Their Global Warming Potentials in Paddy Fields with Double-Rice Cropping	WANG Cong, SHEN Jian-lin, ZHENG Liang, <i>et al.</i> (3120)
Influence of Ozone on Snap Bean Under Ambient Air in Two Sites of Northern China	YUAN Xiang-yang, ZHANG Wei-wei, SUN Jing-song, <i>et al.</i> (3128)
Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis Influences the Biological Effects of Nano-ZnO on Maize	WANG Wei-zhong, WANG Fa-yuan, LI Shuai, <i>et al.</i> (3135)
Effect of Arbuscular Mycorrhizae on Growth, Heavy Metal Uptake and Accumulation of <i>Zenia insignis</i> Chun Seedlings	LI Xia, PENG Xia-wei, WU Song-lin, <i>et al.</i> (3142)
Effects of Phosphorus-containing Substances on Arsenic Uptake by Rice	LEI Ming, ZENG min, LIAO Bo-han, <i>et al.</i> (3149)
Ecotoxicological Effect and Soil Environmental Criteria of the Heavy Metal Chromium(VI)	WANG Xiao-nan, LIU Zheng-tao, WANG Wan-hua, <i>et al.</i> (3155)
Promotion Effects of Vitamin B ₁₂ on the Degradation of 2,4,4'-Trichlorobiphenyl by <i>Nostoc</i> PD-2	LIU Jia-yu, XIAO Wen-feng, LU Li-ping, <i>et al.</i> (3162)
Isolation, Identification and Characterization of a Diethylstilbestrol-degrading Bacterial Strain <i>Serratia</i> sp.	XU Ran-fang, SUN Min-xia, LIU Juan, <i>et al.</i> (3169)
Distribution of Polybrominated Diphenyl Ethers in Wild Crucian Carp and Exposure Estimation of Dietary Intake	WANG Jun-xia, WANG Chun-yan, LIU Li-li, <i>et al.</i> (3175)
Cloning of Full-length cDNA of HMGR from <i>Gobiocypris rarus</i> and Analysis of Its Expression Profiles in Male Exposed to Pentachlorophenol	DENG Chuan, MAO Si-yu, XIONG Li, <i>et al.</i> (3183)
Effects of Algae and Kaolinite Particles on the Survival of Bacteriophage MS2	HE Qiang, WU Qing-qing, MA Hong-fang, <i>et al.</i> (3192)
Adsorption Kinetics and Mechanism of Lead(II) on Polyamine-Functionalized Mesoporous Activated Carbon	LI Kun-quan, WANG Yan-jin, YANG Mei-rong, <i>et al.</i> (3198)
Influence of Biological Activated Carbon Dosage on Landfill Leachate Treatment	CUI Yan-nui, GUO Yan, WU Qing, <i>et al.</i> (3206)
Effect of Economic Structure Adjustment on Pollution Emission: A Case Study of COD	LI Ming-sheng, ZHOU Lei, CHEN Yuan-hang, <i>et al.</i> (3212)
Reasons for the Changes in Anthropogenic Lead Flows of China	MA Lan, MAO Jian-su (3219)
Discussion on Reduction Potential of CH ₄ Emission Intensity for Early Off-take Practice of Grazing Yak	WANG Shi-ping, Andreas Wilkes, WANG Ya-yun, <i>et al.</i> (3225)
Review of Dual Stable Isotope Technique for Nitrate Source Identification in Surface- and Groundwater in China	XU Zhi-wei, ZHANG Xin-yu, YU Gui-rui, <i>et al.</i> (3230)

《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8月15日 第35卷 第8期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 8 Aug. 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@ 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: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行