

# 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<sub>2.5</sub>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<sub>2.5</sub>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)

# 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<sup>1,2</sup>, 张勇<sup>1</sup>, 胡正华<sup>1</sup>, 史艳姝<sup>1</sup>, 沈小帅<sup>1</sup>

(1. 南京信息工程大学江苏省大气环境监测与污染控制高技术研究重点实验室, 南京 210044; 2. 中国科学院大气物理研究所大气边界层物理和大气化学国家重点实验室, 北京 100029)

**摘要:** 为研究臭氧浓度升高条件下土壤湿度对农田土壤微生物呼吸温度敏感性的影响, 采集经过 3 个生长季臭氧 (100 nL·L<sup>-1</sup>) 熏蒸及对照 (CK) 处理的农田土壤, 在不同土壤湿度下研究土壤微生物呼吸对温度升高的响应规律. 结果表明, 在土壤湿度适宜的情况下, 无论臭氧浓度升高处理还是对照处理中的土壤微生物呼吸均与土壤温度呈现出极显著的指数回归关系. 就整个培养试验阶段的平均值而言, CK 和 100 nL·L<sup>-1</sup> 臭氧处理下的平均土壤呼吸速率分别为 0.48 和 0.33  $\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$ , 前者比后者高约 45%. 臭氧浓度升高显著抑制了土壤微生物呼吸速率, 并且显著降低了土壤微生物呼吸的温度敏感性. 进一步的结果表明, 正常土壤中土壤微生物呼吸的  $Q_{10}$  随土壤湿度增加 (20% ~ 35%) 而下降, 而臭氧浓度升高改变了土壤中两者间的这种规律. 综合本研究中的结果与以往关于土壤呼吸温度敏感性的研究结果, 将  $Q_{10}$  与土壤湿度 (体积含水量) 进行回归分析, 可见两者间呈现极显著的二次函数关系, 由此可推断其最大  $Q_{10}$  值对应的土壤含水量在 20% ~ 25% 范围内.

**关键词:** 臭氧; 土壤微生物呼吸; 土壤温度; 土壤湿度; 温度敏感性

中图分类号: X144 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)05-1476-08

## Effects of Elevated Ozone Concentration and Soil Moisture on Temperature Sensitivity of Soil Microbial Respiration in a Cropland

CHEN Shu-tao<sup>1,2</sup>, ZHANG Yong<sup>1</sup>, HU Zheng-hua<sup>1</sup>, SHI Yan-shu<sup>1</sup>, SHEN Xiao-shuai<sup>1</sup>

(1. Jiangsu Key Laboratory of Atmospheric Environment Monitoring and Pollution Control, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China; 2. State Key Laboratory of Atmospheric Boundary Layer Physics and Atmospheric Chemistry, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

**Abstract:** Soil samples of control (CK) and elevated O<sub>3</sub> treatments were collected in a cropland where three seasons of O<sub>3</sub> fumigation experiments were performed. An incubation experiment was carried out, in order to investigate effects of soil moisture on the temperature sensitivity of soil microbial respiration exposed to elevated ozone concentration and ambient atmosphere. Results indicated that soil microbial respiration increased exponentially with the increase of soil temperature for CK and elevated ozone (100 nL·L<sup>-1</sup>) treatments when soil had moderate moisture content. During the whole incubation period, mean soil microbial respiration rates for CK and elevated ozone treatments were 0.48 and 0.33  $\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$ , respectively; the former was ~45% higher than the latter, indicating elevated ozone significantly inhibited soil microbial respiration. Elevated ozone also resulted in significantly lower  $Q_{10}$  values compared to CK. Further investigation showed that  $Q_{10}$  of soil microbial respiration decreased significantly with the increase of soil moisture in CK soil, while no such phenomenon was observed in the elevated ozone treatments. Combining the present study and previous investigations about respiratory  $Q_{10}$  in the natural soil produced a quadratic equation, suggesting the optimal moisture within the range of 20% - 25% corresponding to the maximal  $Q_{10}$ .

**Key words:** ozone; soil microbial respiration; soil temperature; soil moisture; temperature sensitivity

近地表对流层臭氧浓度在逐渐升高, 这已成为引起人们广泛关注的大气环境问题<sup>[1]</sup>. 在一些地区, 过去一个世纪里臭氧浓度以每年 0.3% ~ 2% 的速度急剧升高<sup>[1]</sup>. Fuhrer 等<sup>[2]</sup> 估计 2000 年的全球对流层平均臭氧浓度大约为 50 nL·L<sup>-1</sup> (夏季 8 h 均值), 并且, 据悲观估计 2100 年的臭氧浓度将进一步增大到 80 nL·L<sup>-1</sup>, 部分地区还有可能大大高于这一量值<sup>[3, 4]</sup>. 我国长三角地区是大气臭氧污染相对严重的区域, 近年来长江三角洲地区近地表臭氧浓

度呈逐年升高趋势, 目前平均监测浓度已达 50 ~ 60 nL·L<sup>-1</sup>. 周秀骥<sup>[5]</sup> 根据 1999 ~ 2000 年的监测结果指出, 我国长三角地区个别城市的近地表大气每天 7 h 平均臭氧浓度已大于 70 nL·L<sup>-1</sup>.

收稿日期: 2011-07-03; 修订日期: 2011-08-03

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41005088); 江苏省高校自然科学基金项目 (10KJB610006); 中国科学院大气物理研究所 LAPC 开放课题项目 (LAPC-KF-2010-09)

作者简介: 陈书涛 (1978 ~), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为生态系统碳氮循环与全球变化, E-mail: chenstyf@yahoo.com.cn

土壤呼吸是陆地生态系统中  $\text{CO}_2$  释放的一个重要过程, 在农田生态系统中, 土壤呼吸是土壤有机碳长期变异状况的重要的短期表征指标. 通常而言, 土壤呼吸包括微生物呼吸和植物参与的呼吸(根呼吸及根际共生体的呼吸)<sup>[6]</sup>. 以往研究表明, 臭氧浓度升高会对土壤微生物产生影响<sup>[7]</sup>, 而土壤微生物呼吸又与土壤中的生物学过程密切相关<sup>[8]</sup>, 因而臭氧浓度升高条件下的土壤微生物呼吸会呈现出与正常条件下不同的规律. 研究臭氧浓度升高条件下土壤呼吸的变化规律及其对环境因子的响应方式对于了解土壤碳循环过程具有重要意义.

土壤呼吸的温度敏感性是碳循环研究中的一个重要变量, 文献中表述的土壤呼吸温度敏感性存在很大差异, 从不敏感(以指数函数得到的  $Q_{10}$  值接近 1) 到非常敏感( $Q_{10}$  值 > 20) 均有报道<sup>[9~13]</sup>, 但报道的  $Q_{10}$  值在很多时候未体现出土壤呼吸的某一具体组分对温度的响应程度. 在野外观测的生长季尺度的土壤呼吸温度敏感性包含了各种因素的影响(根系生长、温度变异、湿度变异、管理措施), 这种温度敏感性可称为“表观温度敏感性”<sup>[12,13]</sup>, 它与“固有温度敏感性”(仅仅由底物分子结构决定的温度敏感性)存在一些区别<sup>[14]</sup>. 以往有研究表明, 在干旱、水分饱和、低温、高温等环境因子胁迫条件下土壤呼吸的温度敏感性会降低; 当水分条件较适宜时, 呼吸底物的扩散不受土壤水分的限制, 土壤微生物活性也较强, 土壤呼吸的温度敏感性也相应较高<sup>[10,12]</sup>. 然而, 以往这些研究大多仅考虑了温度、湿度的影响, 对于在某些逆境胁迫(如臭氧)条件下土壤呼吸组分温度敏感性的报道则相对比较鲜见.

本研究通过分析臭氧熏蒸后农田土壤微生物呼吸温度敏感性与正常土壤的区别, 以及温度敏感性对土壤湿度的响应方式, 来探讨不同环境条件下呼吸作用温度敏感性的变异规律, 以期揭示农田土壤碳库对环境变异的反馈方式提供参考.

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地点概况

取土样进行培养试验的地点在南京信息工程大学农业气象试验站(32.20°N, 118.25°E). 当地多年平均温度为 15.6℃, 多年平均降水为每年 1100 mm. 供试土壤为潴育型水稻土(灰马肝土属), 土壤质地为壤质黏土, 本试验前测定的耕层土壤黏粒含量为 26.1%, 土壤 pH( $\text{H}_2\text{O}$ ) 值为 6.2, 有机碳和全氮的含量分别为 19.4  $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、1.45  $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

### 1.2 试验地背景

于 2008 年 11 月~2010 年 6 月进行 3 个生长季的田间观测试验, 观测臭氧浓度升高对农田土壤呼吸的影响, 3 个生长季种植的作物依次为冬小麦、大豆、冬小麦. 采用直径 3 m, 高 2.5 m 的开顶箱(OTC)作为臭氧布气的容纳装置, 设置对照(CK)、臭氧浓度(100  $\text{nL}\cdot\text{L}^{-1}$  臭氧)升高处理. 设定该 100  $\text{nL}\cdot\text{L}^{-1}$  浓度的依据有两方面: 一方面, 据估计, 2100 年全球对流层平均臭氧浓度可能会达到 80  $\text{nL}\cdot\text{L}^{-1}$ , 某些地区可能会大大高于 80  $\text{nL}\cdot\text{L}^{-1}$ <sup>[3,4]</sup>; 另一方面, 目前国内外很多臭氧浓度升高试验设定了 100  $\text{nL}\cdot\text{L}^{-1}$  的臭氧浓度来评估臭氧增加对植物生理特性、作物产量、土壤碳氮循环过程的影响<sup>[15~17]</sup>, 该浓度具有代表性. 运行时, 通过臭氧发生器产生臭氧, 经空气稀释后通入 OTC 中, 利用臭氧传感器、微电子控制仪、电磁阀实现 OTC 内臭氧浓度的自动调控<sup>[18]</sup>. 每天臭氧处理时段为 08:00~16:00, 雨天关闭装置.

在设立该试验地时, 采用农用机械对试验地进行了多轮平整田地操作, 并且在生长季之前, 采用机械旋耕结合人工耙平操作, 尽量保证在进行本试验之前试验地土壤养分状况均一, 以体现本试验中的土壤微生物呼吸的差异是由于臭氧处理的差异造成而非土壤养分状况的不均一所造成.

### 1.3 培养试验

进行 3 个生长季的田间试验后, 于 2010 年 6 月中旬从 CK、臭氧浓度升高处理的 OTC 中分别取表土(0~20 cm). 取土时, 在对照和臭氧浓度升高处理的 OTC 中各自随机取土样多个, 并分别将对照和臭氧浓度升高处理中的土样各自混合, 以保证所取土壤对于该处理具有代表性. 手工分拣出活根系, 土壤混匀后装满上口直径 30 cm、下口直径 25 cm、高 35 cm 的近似圆筒型培养容器, 每处理设 3 个重复. 将直径 20 cm 的 PVC 土壤呼吸底座放置于供试土壤中. 测定土壤呼吸随温度、水分条件而变化的培养试验在 6 个观测日进行, 在每个观测日前 1 d, 预先加入 200 mL 水, 使土壤湿度增加. 在第 6 个观测日, CK 土壤中对应的最大加水量为 1 200 mL; 由于臭氧浓度升高处理土壤第 5 d 的微生物呼吸速率与温度间未表现出显著的正相关关系, 故第 6 d 测定前未加水, 也未在第 6 d 进行相关指标的测定. CK 土壤 6 个观测日对应的土壤湿度分别为 20.8%、22.4%、27.3%、29.3%、34.6%、38.2%, 臭氧处理土壤 5 个观测日对应的土壤湿度分别为 20.1%、

22.4%、28.3%、27.0%、34.6%。将各个培养容器放置到培养箱中,在每个观测日,设定每个容器中的土壤增温约 10℃ 左右。采用 Li-8100 土壤碳通量观测仪每隔 10 min 同步记录一次土壤微生物呼吸速率、10 cm 土壤温度和土壤湿度。

## 2 结果与分析

### 2.1 臭氧浓度升高与土壤微生物呼吸

在若干天的培养试验中,不同处理下不同观测阶段的平均土壤温度的最大变异不超过 6℃,其变异系数为 0.1,就所有观测阶段的平均值而言,CK 和 100 nL·L<sup>-1</sup> 臭氧处理下的土壤温度分别为 14.1℃ 和 14.3℃,两者非常接近。在考虑土壤温度的基础上,不同土壤湿度下测定的平均土壤微生物呼吸速率可进行臭氧处理间的比较。由图 1 可见,除加水量为 200 mL 的观测阶段之外,其他观测阶段的 CK 平均土壤微生物呼吸速率显著高于 100 nL·L<sup>-1</sup> 臭氧处理 ( $P < 0.05$ ),就整个观测阶段的平均值而言,CK 和 100 nL·L<sup>-1</sup> 臭氧处理下的平均土壤呼吸速率分别为 0.48 和 0.33  $\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$ ,前者比后者高约 45%。

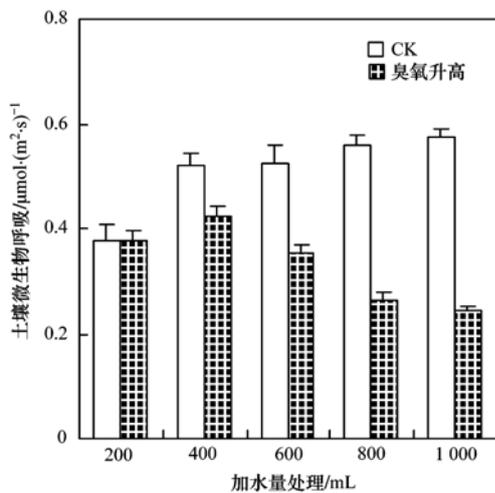


图 1 CK 与臭氧处理土壤微生物呼吸的比较

Fig. 1 Comparison of soil microbial respiration between CK and ozone treatments

### 2.2 臭氧浓度升高与 $Q_{10}$

将不同湿度下的土壤微生物呼吸速率与土壤温度进行回归分析,结果表明,在 CK 的土壤中,除很高的土壤含水量之外[图 2(f)],土壤微生物呼吸速率与土壤温度间均存在极显著 ( $P < 0.001$ ) 的指数回归关系(图 2),其回归方程的可决系数  $R^2$  在 0.682~0.918 范围内变异,这表明在相对比较正常的水分条件下,土壤温度的增加会明显促进土壤呼

吸作用,根据图 2(a)~2(e) 中的指数回归方程计算得到的  $Q_{10}$  分别为 3.02、2.11、2.08、1.51、1.44。而在土壤中水分过高的情况下,土壤微生物呼吸速率未呈现出随土壤温度增大而增加的趋势。

100 nL·L<sup>-1</sup> 臭氧浓度升高处理中,除很高的土壤含水量之外[图 3(e)],其余各湿度条件下土壤微生物呼吸速率与土壤温度间均存在极显著 ( $P < 0.002$ ) 的指数回归关系,这一规律与 CK 的类似。根据图 3(a)~3(d) 中的指数回归方程计算得到的  $Q_{10}$  分别为 1.77、1.68、1.81、1.68。由此可见,臭氧浓度升高处理下的土壤微生物呼吸速率温度敏感性明显低于 CK。

若将土壤微生物呼吸的温度敏感系数  $Q_{10}$  与其对应的土壤湿度做散点图并进行回归分析,可见 CK 中的  $Q_{10}$  随土壤湿度的升高(从 20.8% 增大到 34.6%) 而逐渐减小,两者间关系可用图 4(a) 中幂函数方程描述;而在 100 nL·L<sup>-1</sup> 臭氧处理中无类似规律[图 4(b)],这表明长期受到浓度较高的臭氧作用后,土壤微生物呼吸的  $Q_{10}$  不仅绝对量值降低,而且对湿度变异的响应也不敏感。

## 3 讨论

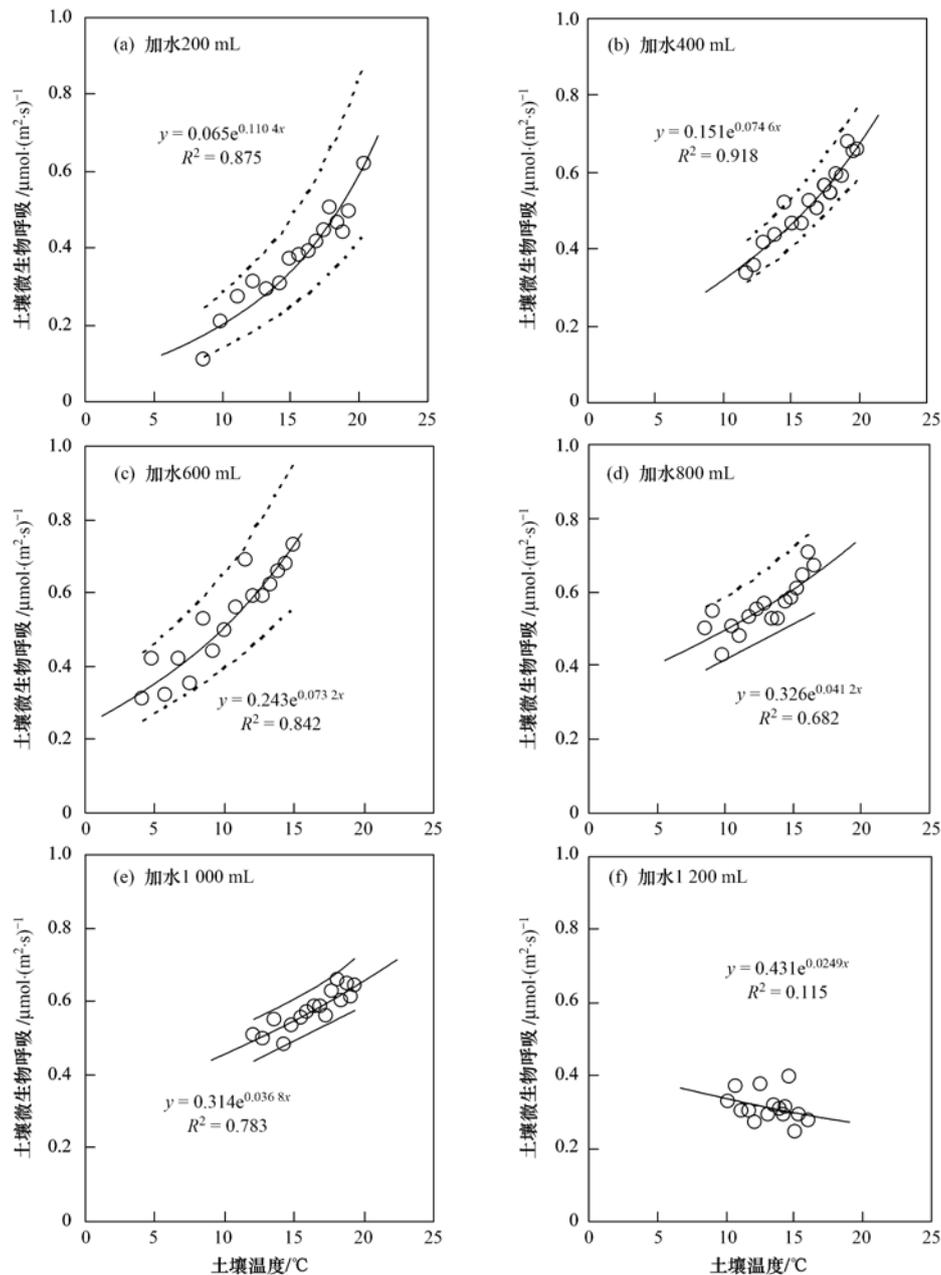
### 3.1 臭氧浓度升高对土壤微生物呼吸及其温度敏感性的影响

本研究中,臭氧浓度升高明显地抑制了土壤微生物呼吸作用,在臭氧浓度升高条件下土壤微生物呼吸的温度敏感性有所降低(图 1),该结果与本课题组以往在当地试验地点进行的田间观测研究结果具有一致性<sup>[18]</sup>,也与 Tingey 等<sup>[19]</sup> 采用开顶箱观测得到的结果基本一致。

这一现象可能与臭氧浓度升高减少了微生物生物量和降低了微生物活性有关,Islam 等<sup>[20]</sup> 报道,经过 2 a 臭氧浓度升高试验后土壤微生物生物量比对照降低了 17%,Chen 等<sup>[7]</sup> 的研究也表明土壤微生物生物量在高臭氧浓度条件下也显著减少。此外,在臭氧浓度升高条件下,土壤微生物区系也会发生明显改变。这些与微生物有关的指标的改变可能改变了土壤微生物呼吸及其温度敏感性。

### 3.2 土壤湿度对 $Q_{10}$ 的影响

本研究中的土壤湿度范围为 20%~35%,其对应的  $Q_{10}$  范围为 1.44~3.02, $Q_{10}$  的这一范围与以往研究具有可比性。如表 1 所示,Jassal 等<sup>[21]</sup> 的研究表明,土壤湿度从 7.0% 增加到 28.5%,土壤呼吸的  $Q_{10}$  呈现出先增大后减小的趋势;McCulley 等<sup>[22]</sup>



图中实线为拟合的指数回归线, 虚线为回归线的95%置信区间, 下同

图2 CK中不同土壤湿度下土壤微生物呼吸与土壤温度的关系

Fig. 2 Relationship between soil microbial respiration and soil temperature under different moisture conditions in CK treatment

观测到湿度20%时土壤呼吸的温度敏感性为3.07; Wang等<sup>[23]</sup>观测到中国东北温带森林土壤水分过高降低了土壤呼吸的温度敏感性; Qi等<sup>[24]</sup>则发现在9%~25%湿度范围内,  $Q_{10}$ 随湿度增加而呈线性增加趋势。综合以往这些研究结果, 将 $Q_{10}$ 与土壤湿度(体积含水量)进行回归分析, 可见两者间呈现极显著的二次函数关系(图5), 其最大 $Q_{10}$ 值对应的土壤含水量在20%~25%范围内。

土壤 $CO_2$ 排放的温度敏感性与微生物活动、土壤通气条件、土壤温度、土壤水分等条件密切相关。

表1 不同研究中观测的土壤湿度及对应的 $Q_{10}$

Table 1 Soil moisture and corresponding  $Q_{10}$  measured in different studies

土壤湿度范围/%	$Q_{10}$ 范围	测定方法	文献
7.0~28.5	1.49~4.25	原位观测	[21]
20.0	3.07	原位观测	[22]
14.1~30.1	2.60~3.77	原位观测	[23]
9.6~24.4 <sup>1)</sup>	1.03~2.31 <sup>1)</sup>	原位观测	[24]
20.8~34.6	1.44~3.02	实验室观测	本研究

1) 数据从原文图中获取

通常情况下当土壤水分含量很低时, 微生物生命活

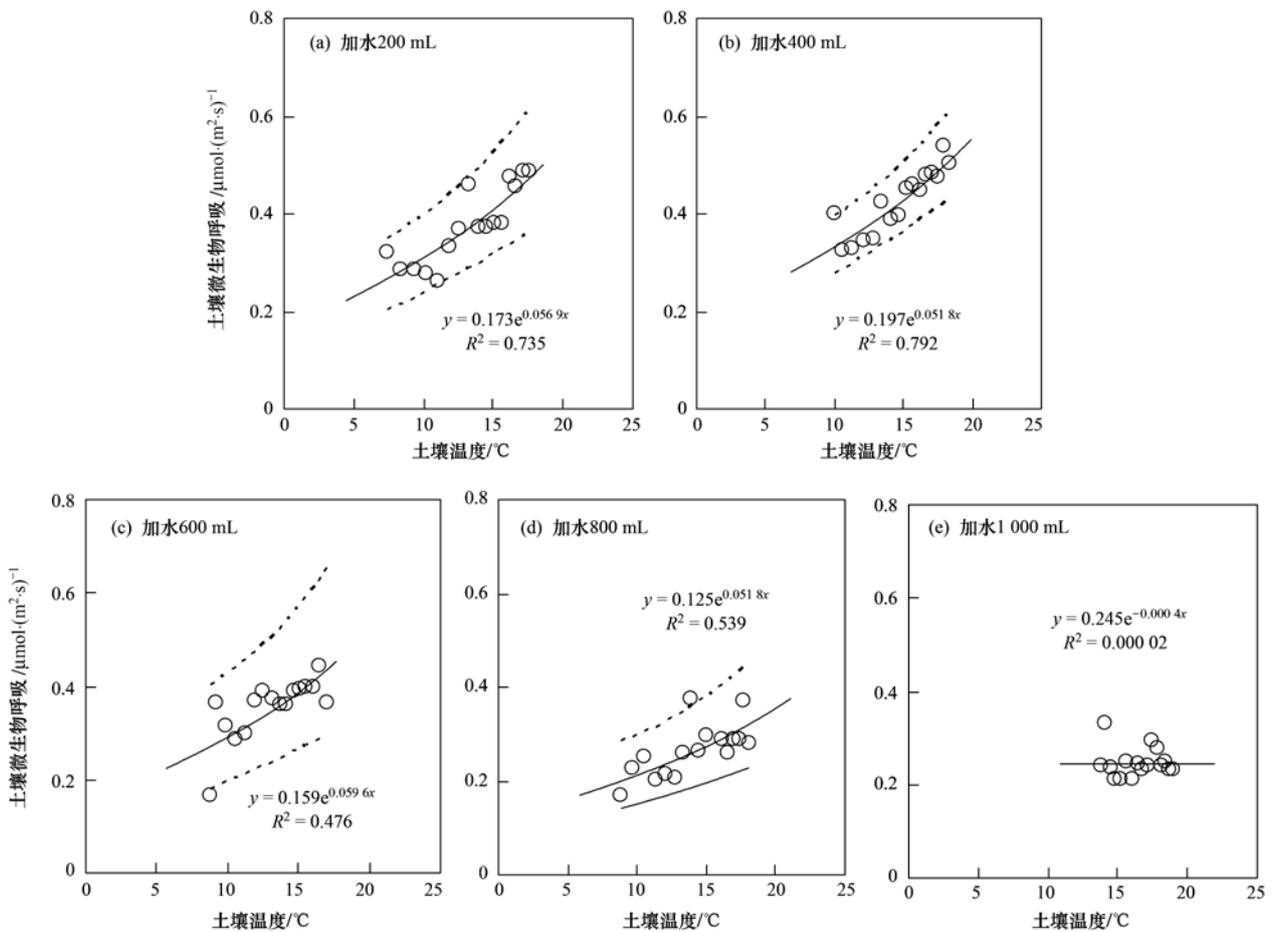


图3 臭氧处理中不同土壤湿度下土壤微生物呼吸与土壤温度的关系

Fig. 3 Relationship between soil microbial respiration and soil temperature under different moisture conditions in ozone treatments

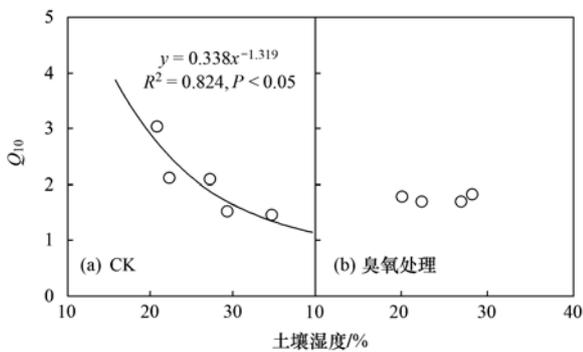


图4 土壤微生物呼吸的  $Q_{10}$  与土壤湿度的关系

Fig. 4 Relationship between  $Q_{10}$  of soil microbial respiration and soil moisture

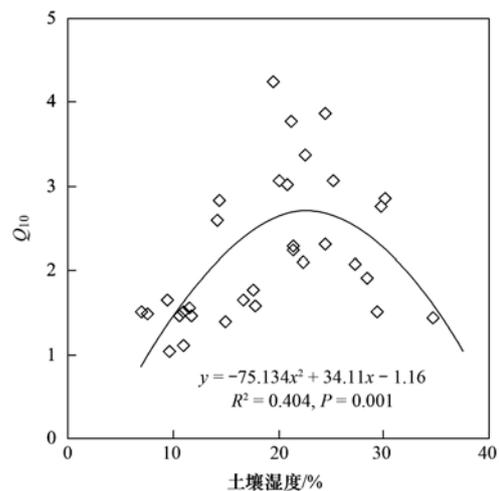


图5 观测的  $Q_{10}$  与土壤湿度的关系

Fig. 5 Relationship between measured  $Q_{10}$  and soil moisture

动受到抑制,且不易获得呼吸所需的底物(底物的扩散性在某种程度上取决于水分的运移);当水分条件较适宜时,一方面,呼吸底物的扩散不受土壤水分的限制,另一方面,土壤微生物活性也较强,因而此时土壤呼吸的温度敏感性较高;但当土壤含水量超过某一阈值时,水分会充满土壤空隙,阻碍底物和  $O_2$ 、 $CO_2$  等气体的传输<sup>[25, 26]</sup>. 如 Crianea 等<sup>[27]</sup> 的研

究表明:在 30% ~ 75% 最大田间持水量范围内,土壤呼吸的温度敏感性呈现出先增强后减弱的趋势,其温度敏感性最强的阶段出现在 40% ~ 50% 最大田间持水量范围内; Bowden 等<sup>[28]</sup> 在室内对温带森

林土壤进行的培养试验发现,在田间持水量 20% ~ 100% 范围内,土壤微生物呼吸的  $Q_{10}$  值在水分很高和很低时均较低. 值得指出的是,本研究中的土壤湿度范围设定为 20% ~ 35% (体积含水量),这一范围基本反映了当地土壤在生长季尺度上的变异状况<sup>[18]</sup>,但在其他生态系统中,土壤湿度的变异范围更大,远超出本研究中相对较窄的湿度范围. 因此,本研究中的土壤湿度范围仅具有区域代表性,要使其具有普遍意义,需结合其他研究中的湿度范围来研究土壤微生物呼吸的温度敏感性. 今后的研究中需设定更大的湿度变异范围来进行深入研究.

依据本研究和以往研究中的认知,按照土壤呼吸的  $Q_{10}$  与土壤湿度的关系可构建如图 6 所示的概念模型. 如图 6 所示,当土壤无水分时,无土壤生物活动,呼吸量和  $Q_{10}$  为零. 随着湿度增大, $Q_{10}$  随之增

大,达到呈现出最大  $Q_{10}$  的含水量(此处成为最优含水量)的状态后, $Q_{10}$  又随湿度增大而减小. 由大多数研究可见,此最优含水量可能在 20% ~ 25% 范围内(图 6). 实际条件下,土壤湿度对  $Q_{10}$  的影响并非单一作用,温度、微生物、营养源(如:碳、氮、磷等)、地表植被、异常环境因子的胁迫均会影响  $Q_{10}$  与湿度的关系、最大  $Q_{10}$ 、 $Q_{10}$  增减速率等(图 6),如臭氧浓度升高、UV-B 辐射增强、酸雨等等,均可能会影响呼吸的温度敏感性,笔者在以往进行的臭氧浓度升高、UV-B 辐射增强对冬小麦田土壤呼吸影响的田间观测试验中即发现土壤呼吸的  $Q_{10}$  均受到了抑制<sup>[18, 29]</sup>,同时,本研究也通过培养试验观测到臭氧浓度升高显著降低了土壤微生物呼吸的  $Q_{10}$ ,并且臭氧浓度升高条件下, $Q_{10}$  与土壤湿度的关系也不复存在(图 4).

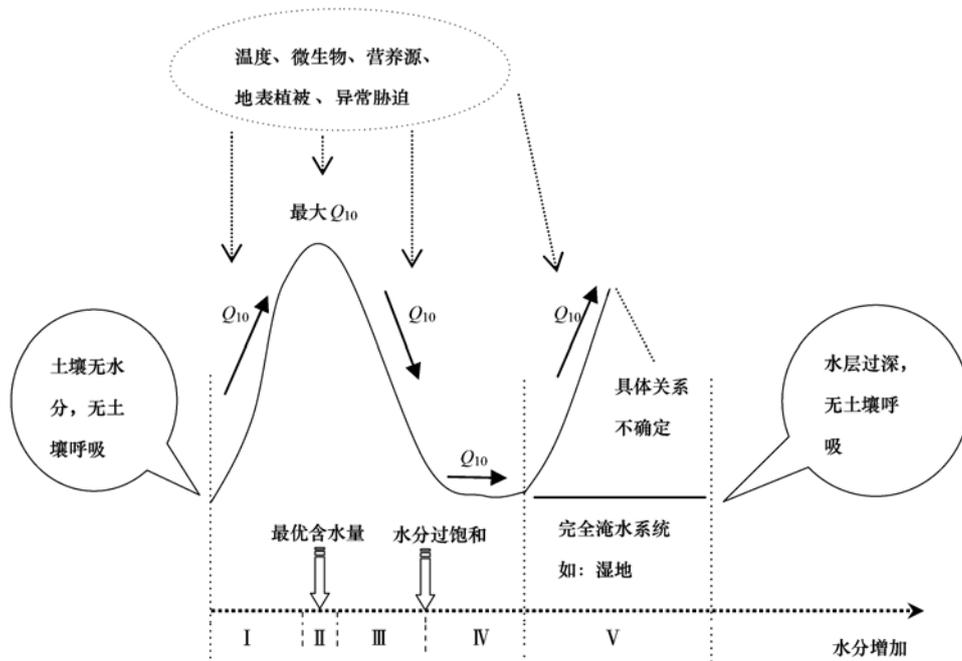


图 6 土壤水分对土壤呼吸温度敏感性 ( $Q_{10}$ ) 影响的概念模型

Fig. 6 Conceptual model of the effect of soil water content on temperature sensitivity ( $Q_{10}$ ) of soil respiration

值得指出的是,最优含水量并非在所有土壤中都会出现, Klimek 等<sup>[30]</sup>的研究发现土壤呼吸在很高和很低的水分条件下都受到了显著抑制,但水分条件对土壤微生物呼吸温度敏感性的影响不明显. 也有研究表明高纬地区土壤呼吸的  $Q_{10}$  值远远偏离了正常情况下的量值<sup>[31]</sup>. 特别是, Smith<sup>[32]</sup> 发现在 20% ~ 100% 土壤最大持水量范围内,土壤微生物呼吸的  $Q_{10}$  随着含水量增加而逐渐增加,并未出现最优含水量,该研究地点 (Marion Island) 几乎每天下雨(平均每月的降水天数达到了 25 d),而蒸散量非

常小,在这种情况下,土壤微生物群落可能趋向于湿地生态系统中的类型,由此可能出现随水分减少土壤微生物呼吸的  $Q_{10}$  值也减小的情形. 由此外推到淹水状态下,可能又会出现  $Q_{10}$  随土壤水分条件(主要是水层厚度)变化而变化的情形;而水层过深时,可能也会完全抑制土壤呼吸作用,当然,目前关于这方面的研究非常鲜见,而且也不是本研究的阐述重点.

此外,今后还将重点针对不同环境条件下土壤湿度与土壤呼吸  $Q_{10}$  的关系进行进一步定量研究

究,设定不同的底物条件、逆境胁迫条件(如:臭氧浓度升高、UV-B 辐射增强、酸雨)、湿度范围等,以更深入地了解土壤呼吸各组分的温度敏感性与其影响因素之间的内在联系,最终建立模拟  $Q_{10}$  的数值模型。

#### 4 结论

在土壤湿度适宜的情况下,无论臭氧浓度升高处理还是对照处理中的土壤微生物呼吸均与土壤温度呈现出极显著的指数回归关系。臭氧浓度升高显著抑制了土壤微生物呼吸速率,并且显著降低了土壤微生物呼吸的温度敏感性。正常土壤中土壤微生物呼吸的  $Q_{10}$  随土壤湿度增加(20% ~ 35%)而下降,而臭氧浓度升高改变了土壤中两者间的这种规律。

#### 参考文献:

- [ 1 ] Vingarzan R. A review of surface ozone background levels and trends[J]. *Atmospheric Environment*, 2004, **38**(21): 3431-3442.
- [ 2 ] Fuhrer J, Skärby L, Ashmore M R. Critical levels for ozone effects on vegetation in Europe[J]. *Environmental Pollution*, 1997, **97**(1-2): 91-106.
- [ 3 ] Prather M, Ehhalt D, Dentener F, *et al.* Atmospheric chemistry and greenhouse gases[A]. In: Houghton J T, Ding Y, Griggs D J, *et al.* *Climate Change 2001: the Scientific Basis Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*[C]. Cambridge UK: Cambridge University Press, 2001. 239-287.
- [ 4 ] Fiscus E L, Booker E 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.
- [ 5 ] 周秀骥. 长江三角洲低层大气与生态系统相互作用研究[M]. 北京: 气象出版社, 2004. 48-51.
- [ 6 ] Höglberg P, Nordgren A, Buchmann N, *et al.* Large-scale forest girdling shows that current photosynthesis drives soil respiration[J]. *Nature*, 2001, **411**(6839): 789-792.
- [ 7 ] Chen Z, Wang X K, Feng Z Z, *et al.* Impact of elevated  $O_3$  on soil microbial community function under wheat crop[J]. *Water, Air and Soil Pollution*, 2009, **198**(1-4): 189-198.
- [ 8 ] Kuzakov Y. Sources of  $CO_2$  efflux from soil and review of partitioning methods[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, **38**(3): 425-448.
- [ 9 ] Pavelka M, Acosta M, Marek M V, *et al.* Dependence of the  $Q_{10}$  values on the depth of the soil temperature measuring point[J]. *Plant and Soil*, 2007, **292**(1-2): 171-179.
- [ 10 ] Xu M, Qi Y. Spatial and seasonal variations of  $Q_{10}$  determined by soil respiration measurements at a Sierra Nevada forest[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2001, **15**(3): 687-696.
- [ 11 ] Peng S S, Piao S L, Wang T, *et al.* Temperature sensitivity of soil respiration in different ecosystems in China[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, **41**(5): 1008-1014.
- [ 12 ] Raich J W, Schlesinger W H. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate[J]. *Tellus*, 1992, **44B**(2): 81-89.
- [ 13 ] 杨庆朋, 徐明, 刘洪升, 等. 土壤呼吸温度敏感性的影响因素和不确定性[J]. *生态学报*, 2011, **31**(8): 2301-2311.
- [ 14 ] Davidson E A, Janssens I A. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change[J]. *Nature*, 2006, **440**(7081): 165-173.
- [ 15 ] Kanerva T, Palojarvi A, Rämö K, *et al.* Changes in soil microbial community structure under elevated tropospheric  $O_3$  and  $CO_2$ [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, **40**(10): 2502-2510.
- [ 16 ] Feng Z Z, Kobayashi K, Wang X K, *et al.* A meta-analysis of responses of wheat yield formation to elevated ozone concentration[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2009, **54**(2): 249-255.
- [ 17 ] Feng Z Z, Pang J, Kobayashi K, *et al.* Differential responses in two varieties of winter wheat to elevated ozone concentration under fully open-air field conditions[J]. *Global Change Biology*, 2011, **17**(1): 580-591.
- [ 18 ] 张勇, 陈书涛, 王连喜, 等. 臭氧浓度升高对冬小麦田土壤呼吸、硝化和反硝化作用的影响[J]. *环境科学*, 2010, **31**(12): 2988-2994.
- [ 19 ] Tingey D T, Johnson M G, Lee E H, *et al.* Effects of elevated  $CO_2$  and  $O_3$  on soil respiration under ponderosa pine[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, **38**(7): 1764-1778.
- [ 20 ] Islam K R, Mulchi C L, Ali A A. Interactions of tropospheric  $CO_2$  and  $O_3$  enrichments and moisture variations on microbial biomass and respiration in soil[J]. *Global Change Biology*, 2000, **6**(3): 255-265.
- [ 21 ] Jassal R S, Black T A, Novak M D, *et al.* Effect of soil water stress on soil respiration and its temperature sensitivity in an 18-year-old temperate Douglas-fir stand[J]. *Global Change Biology*, 2008, **14**(6): 1305-1318.
- [ 22 ] McCulley R L, Boutton T W, Archer S R. Soil respiration in a subtropical savanna parkland: response to water additions[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2007, **71**(3): 820-828.
- [ 23 ] Wang C K, Yang J Y, Zhang Q Z. Soil respiration in six temperate forests in China[J]. *Global Change Biology*, 2006, **12**(11): 2103-2114.
- [ 24 ] Qi Y, Xu M, Wu J G. Temperature sensitivity of soil respiration and its effects on ecosystem carbon budget: nonlinearity begets surprises[J]. *Ecological Modeling*, 2002, **153**(1-2): 131-142.
- [ 25 ] Nikolova P S, Raspe S, Andersen C P, *et al.* Effects of the extreme drought in 2003 on soil respiration in a mixed forest[J]. *European Journal of Forest Research*, 2009, **128**(2): 87-98.
- [ 26 ] Almagro M, López J, Querejeta J I, *et al.* Temperature dependence of soil  $CO_2$  efflux is strongly modulated by seasonal patterns of moisture availability in a Mediterranean ecosystem[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, **41**(3): 594-605.

- [27] Craine J M, Gelderman T M. Soil moisture controls on temperature sensitivity of soil organic carbon decomposition for a mesic grassland[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2011, **43** (2): 455-457.
- [28] Bowden R D, Newkirk K M, Rullo G M. Carbon dioxide and methane fluxes by a forest soil under laboratory-controlled moisture and temperature conditions [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1998, **30**(12): 1591-1597.
- [29] 陈书涛, 胡正华, 李涵茂, 等. 紫外(UV-B)辐射增强对拔节-孕穗期小麦植株呼吸和土壤呼吸的温度敏感性影响[J]. *环境科学*, 2009, **30**(5): 1249-1254.
- [30] Klimek B, Choczyński M, Juskiewicz A. Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) roots and soil moisture did not affect soil thermal sensitivity[J]. *European Journal of Soil Biology*, 2009, **45**(5-6): 442-447.
- [31] Öquist M G, Sparman T, Klemetsson L, *et al.* Water availability controls microbial temperature responses in frozen soil CO<sub>2</sub> production[J]. *Global Change Biology*, 2009, **15**(11): 2715-2722.
- [32] Smith V R. Moisture, carbon and inorganic nutrient controls of soil respiration at a sub-Antarctic island[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2005, **37**(1): 81-91.

## 欢迎订阅 2012 年《环境科学》

《环境科学》创刊于 1976 年,由中国科学院主管,中国科学院生态环境研究中心主办,是我国环境科学学科中最早创刊的学术性期刊。

《环境科学》自创刊以来,始终坚持“防治污染,改善生态,促进发展,造福人民”的宗旨,报道我国环境科学领域内具有创新性高水平,有重要意义的基础研究和应用研究成果,以及反映控制污染,清洁生产和生态环境建设等可持续发展的战略思想、理论和实用技术等。

《环境科学》在国内外公开发行,并在国内外科技界有较大影响,被国内外一些重要检索系统收录,如美国医学索引 MEDLINE;美国化学文摘 CA;俄罗斯文摘杂志 AJ;美国生物学文摘预评 BP;美国医学索引 IM;日本科学技术情报中心数据库 JICST;英国动物学记录 ZR;剑桥科学文摘(CSA): Environmental Sciences;剑桥科学文摘(CSA): Pollution Abstracts;剑桥科学文摘(CAS): Life Sciences Abstracts 等;国内的检索系统有中国科技论文统计与引文数据库(CSTPCD);中文科技期刊数据库(维普);中国期刊全文数据库(CNKI);数字化期刊全文数据库(万方);中国科学引文数据库(CSCD);中国生物学文摘等。

全国各地邮局均可订阅,如有漏订的读者可直接与编辑部联系,办理补订手续。

《环境科学》2012 年为 16 开本,70 元/册,全年 12 期。

国内统一刊号: CN11-1895/X 国际标准刊号: ISSN 0250-3301

国外发行代号: M 205 国内邮发代号: 2-821

编辑部地址: 北京市海淀区双清路 18 号(2871 信箱) 邮编: 100085

电话: 010-62941102; 传真: 010-62849343; E-mail: hjkx@rcees.ac.cn; 网址: www.hjkx.ac.cn

## 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 <sub>2.5</sub> 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 <sub>2.5</sub> 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