

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第1期

Vol.35 No.1

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

雾霾重污染期间北京居民对高浓度 PM_{2.5} 持续暴露的健康风险及其损害价值评估 谢元博, 陈娟, 李巍 (1)

长白山 PM_{2.5} 中水溶性离子季节变化特征研究 赵亚南, 王跃思, 温天雪, 戴冠华 (9)

青岛大气颗粒物数浓度变化及对能见度的影响 柯馨姝, 盛立芳, 孔君, 郝泽彤, 屈文军 (15)

重庆市大气二噁英污染水平及季节变化 张晓岭, 卢益, 朱明吉, 蹇川, 郭志顺, 邓力, 孙静, 张芹, 罗财红 (22)

西南地区再生铝冶炼行业二噁英大气排放 卢益, 张晓岭, 郭志顺, 蹇川, 朱明吉, 邓力, 孙静, 张芹 (30)

西南地区新型干法水泥生产中的二噁英大气排放 张晓岭, 卢益, 蹇川, 郭志顺, 朱明吉, 邓力, 孙静, 张芹 (35)

杭州市办公场所室内空气中 PBDEs 的污染现状与特征 蒋欣慰, 孙鑫, 裴小强, 金漫彤, 李云龙, 沈学优 (41)

模拟不同排放源排放颗粒及多环芳烃的粒径分布研究 符海欢, 田娜, 商惠斌, 张彬, 叶素芬, 陈晓秋, 吴水平 (46)

川东北地区元素大气沉降通量及其季节变化 童晓宁, 周厚云, 游镇烽, 汤静, 刘厚均, 黄颖, 贺海波 (53)

重庆市铁山坪 2001 ~ 2010 年酸沉降变化 余德祥, 马萧萧, 谭炳全, 赵大为, 张冬保, 段雷 (60)

汉江上游金水河流域氮湿沉降 王金杰, 张克荣, 吴芹, 张全发 (66)

麦秸及其烟尘中正构脂肪酸的组成 刘刚, 李久海, 吴丹, 徐慧 (73)

兰州市室内大气降尘环境磁学特征及其随高度变化研究 吴铎, 魏海涛, 赵瑞瑞, 张蕊, 刘建宝 (79)

中亚热带针阔混交林土壤-大气界面释汞通量研究 马明, 王定勇, 申源源, 孙荣国, 黄礼昕 (85)

水稻秸秆生物炭对耕地土壤有机碳及其 CO₂ 释放的影响 柯跃进, 胡学玉, 易卿, 余忠 (93)

黄海和东海海域溶解铋地球化学分布特征 吴晓丹, 宋金明, 吴斌, 李学刚 (100)

浑河上游(清原段)水环境中重金属时空分布及污染评价 马迎群, 时瑶, 秦延文, 郑丙辉, 赵艳民, 张雷 (108)

POCIS 采样技术应用于九龙江流域水环境中雌激素的检测 张利鹏, 王新红, 李永玉, 吴玉玲, 张祖麟 (117)

降雨条件下岩溶地下水微量元素变化特征及其环境意义 陈雪彬, 杨平恒, 蓝家程, 莫雪, 师阳 (123)

锡林河流域地表水水化学主离子特征及控制因素 唐玺雯, 吴锦奎, 薛丽洋, 张明泉, Frauke Barthold, Lutz Breuer, Hans-Georg Frede (131)

子牙河水系河流氮素组成及空间分布特征 赵钰, 单保庆, 张文强, 王超 (143)

水稻种植对中亚热带红壤丘陵区小流域氮磷养分输出的影响 宋立芳, 王毅, 吴金水, 李勇, 李裕元, 孟岑, 李航, 张满意 (150)

黄东海表层沉积物中磷的分布特征 宋国栋, 刘素美, 张国玲 (157)

河流沉积物中有机磷提取剂 (NaOH-EDTA) 提取比例与机制研究 张文强, 单保庆, 张洪, 唐文忠 (163)

沉积物短期扰动下 BAPP 再生和转化机制 武晓飞, 李大鹏, 汪明 (171)

三峡库区典型农村型消落带沉积物风险评价与重金属来源解析 敖亮, 雷波, 王业春, 周谐, 张晟 (179)

太湖东部不同类型湖区疏浚后沉积物重金属污染及潜在生态风险评价 毛志刚, 谷孝鸿, 陆小明, 曾庆飞, 谷先坤, 李旭光 (186)

滇池沉积物中主要污染物含量时间分异特征研究 王心宇, 周丰, 伊旋, 郭怀成 (194)

浓度层析荧光光谱局部匹配溢油鉴别技术 王春艳, 史晓凤, 李文东, 张金亮 (202)

光电 Fenton 技术处理污泥深度脱水液研究 王现丽, 王世峰, 吴俊峰, 濮文虹, 杨昌柱, 张敬东, 杨家宽 (208)

同步脱氮除磷颗粒污泥硝化反硝化特性试验研究 刘小英, 林慧, 马兆瑞, 王磊, 刘静伟, 郭超, 姜应和 (214)

垃圾填埋场渗滤液短程生物脱氮的长期稳定性实验研究 孙洪伟, 郭英, 彭永臻 (221)

油田区土壤石油烃组分残留特性研究 胡迪, 李川, 董倩倩, 李立明, 李广贺 (227)

水稻光合同化碳在土壤中的矿化和转化动态 谭立敏, 彭佩钦, 李科林, 李宝珍, 聂三安, 葛体达, 童成立, 吴金水 (233)

土地利用及退耕对喀斯特山区土壤活性有机碳的影响 廖洪凯, 李娟, 龙健, 张文娟, 刘云飞 (240)

水稻土团聚体 Cu²⁺ 吸附过程中铝的溶出及土壤溶液 pH 变化 许海波, 赵道远, 秦超, 李玉姣, 董长勋 (248)

Cr(VI) 对两种黏土矿物在单一及复合溶液中 Cu(II) 吸附的影响 刘娟娟, 梁东丽, 吴小龙, 屈广周, 钱勋 (254)

淹水时长对 3 种丛枝菌根 (AM) 真菌侵染 2 种湿地植物的影响 马雷猛, 王鹏腾, 王曙光 (263)

太湖水质与水生生物健康的关联性初探 周笑白, 张宁红, 张咏, 牛志春, 刘雷, 于红霞 (271)

3 种典型污染物对水生生物的急性毒性效应及其水质基准比较 姜东生, 石小荣, 崔益斌, 李梅 (279)

某制药废水对发光细菌急性毒性的评价研究 杜丽娜, 杨帆, 穆玉峰, 余若祯, 左剑恶, 高俊发, 余忻, 滕丽君, 汤薪瑶 (286)

异丙甲草胺与锌共存对斜生栅藻毒性手性差异影响 胡晓娜, 张淑娟, 陈彩东, 刘惠君 (292)

Biotic Ligand Model 的简化模型及预测性能评价 王万宾, 陈莎, 吴敏, 苏德丽, 赵婧 (299)

基于 USEtox 的焦化行业优先污染物筛选排序研究 郝天, 杜鹏飞, 杜斌, 曾思育 (304)

微囊藻毒素降解菌 *Paucibacter* sp. CH 菌的分离鉴定及其降解特性 游狄杰, 陈晓国, 向荟圯, 欧阳溱, 杨冰 (313)

硝酸盐抑制油田采出水中硫酸盐还原菌活性研究 杨德玉, 张颖, 史荣久, 韩斯琴, 李光哲, 李国桥, 赵劲毅 (319)

降解纤维素产甲烷的四菌复合系 吴俊妹, 马安周, 崔萌萌, 于清, 齐鸿雁, 庄绪亮, 庄国强 (327)

中国陆地生态系统土壤异养呼吸变异的影响因素 谢薇, 陈书涛, 胡正华 (334)

内蒙古羊草草原根呼吸和土壤微生物呼吸区分的研究 史晶晶, 耿元波 (341)

南京河流夏季水-气界面 N₂O 排放通量 韩洋, 郑有飞, 吴荣军, 尹继福, 孙霞 (348)

杀菌剂对湖泊水体温室气体浓度分析的影响 肖启涛, 胡正华, James Deng, 肖薇, 刘寿东, 李旭辉 (356)

生物表面活性剂强化剩余污泥微生物燃料电池产电特性研究 彭海利, 张植平, 李小明, 杨麒, 罗琨, 易欣 (365)

不同硅铝比 Fe-ZSM-5 催化剂对氧化亚氮催化分解性能的研究 卢仁杰, 张新艳, 郝郑平 (371)

硫酸铵和尿素对废物焚烧过程中多种途径生成氯苯类的抑制作用 严密, 祁志福, 李晓东, 胡艳军, 陈彤 (380)

县域尺度的京津冀都市圈 CO₂ 排放时空演变特征 汪浩, 陈操操, 潘涛, 刘春兰, 陈龙, 孙莉 (385)

保水剂性能及其农用安全性评价研究进展 李希, 刘玉荣, 郑袁明, 贺纪正 (394)

《环境科学》征订启事 (65) 《环境科学》征稿简则 (220) 信息 (226, 270, 298, 364)

中国陆地生态系统土壤异养呼吸变异的影响因素

谢薇¹, 陈书涛^{1*}, 胡正华²

(1. 南京信息工程大学环境科学与工程学院, 南京 210044; 2. 南京信息工程大学应用气象学院, 南京 210044)

摘要: 土壤异养呼吸是生态系统碳平衡估算中的关键因子之一。通过文献调研, 收集了中国陆地生态系统中土壤异养呼吸的观测数据, 同时收集整理了试验地点气候资料(年总降水量和年平均气温)和环境因子(如树木生长年龄)指标。结果表明, 异养呼吸与土壤呼吸的关系可用幂函数方程描述, 异养呼吸随土壤呼吸的增大而增大, 该幂函数方程可解释异养呼吸 73% ($R^2 = 0.730$, $P < 0.001$) 的变异。异养呼吸与年总降水量以及年平均气温的关系均可用一元线性方程描述。异养呼吸占土壤呼吸的比例与年总降水量、年平均气温的关系均可用对数回归方程描述, 异养呼吸占土壤呼吸的比例随年总降水量的增大和年平均气温的升高而减小。异养呼吸占土壤呼吸的比例随树龄的增大而增大, 两者之间的关系可用幂函数方程描述。进一步的结果表明, 经验模型模拟得到的异养呼吸模拟值与实际样地观测结果之间呈显著的线性回归关系, 采用的经验统计模型可较好地模拟异养呼吸的变异。

关键词: 陆地生态系统; 土壤; 异养呼吸; 模拟; 降水; 气温

中图分类号: X144 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)01-0334-07

Factors Influencing the Variability in Soil Heterotrophic Respiration from Terrestrial Ecosystem in China

XIE Wei¹, CHEN Shu-tao¹, HU Zheng-hua²

(1. School of Environmental Science and Engineering, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China; 2. School of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: Soil heterotrophic respiration is one of the key factors for estimating ecosystem carbon balance. Measurement data of soil heterotrophic respiration from terrestrial ecosystem in China were collected. Climate data (annual precipitation and annual mean air temperature) and relevant environmental factors (e. g. tree age) were also collected. Results indicated that the relationship between heterotrophic respiration and soil respiration could be explained by a power function. Heterotrophic respiration increased with the increase of soil respiration. The power function explained 73% of the variability ($R^2 = 0.730$, $P < 0.001$) in heterotrophic respiration. The linear equation could be used to explain the relationship between heterotrophic respiration and annual precipitation/mean annual air temperature. The logarithmic regression equation could be employed to describe the relationship between the ratio of heterotrophic respiration to soil respiration and annual precipitation/mean annual air temperature. The ratio of heterotrophic respiration to soil respiration increased with the increase of tree age; a power function could be used to explain the relationship between the ratio of heterotrophic respiration to soil respiration and tree age. Further investigation showed that the relationship between measured annual heterotrophic respiration and modeled heterotrophic respiration by using an empirical model could be described by a linear function, indicating that the empirical model well fitted the variability in heterotrophic respiration.

Key words: terrestrial ecosystem; soil; heterotrophic respiration; modeling; precipitation; temperature

陆地生态系统土壤呼吸是碳循环中一个重要过程^[1, 2], 全球每年因土壤呼吸作用向大气中释放的 CO₂ 量约是化石燃料释放量的 10 倍^[3, 4], 其量值仅次于全球陆地总初级生产力以及总生态系统呼吸的估算值^[5]。

通常而言, 土壤呼吸可较简化地划分为异养呼吸和自养呼吸(根呼吸)两部分。在陆地生态系统碳平衡估算中, 通过计算异养呼吸与净初级生产量的差值可得净生态系统交换的量值, 从而可了解生态系统源汇情况, 因而异养呼吸是生态系统碳平衡估算中的关键因子之一。

以往已经有较多关于生态系统净初级生产量的

机制模型和经验模型研究, 但对异养呼吸的估算仍存在争议, 这一方面是由于异养呼吸的准确观测存在一定困难, 另一方面是由于实际观测样本量的不足。近 20 年来, 人们针对异养呼吸这一重要的碳排放过程开展了一些研究。例如, 杨金艳等^[6]的研究表明东北帽儿山不同类型森林的异养呼吸占土壤呼吸的比例介于 45% ~ 74% 之间; 刘建军等^[7]在秦岭

收稿日期: 2013-05-20; 修订日期: 2013-06-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(41005088, 41175136); 江苏高校优势学科建设工程项目

作者简介: 谢薇(1989~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为生态系统碳氮循环与全球变化, E-mail: weiweiweixie@sohu.com

* 通讯联系人, E-mail: chenstyf@aliyun.com

天然油松和锐齿栎林地测定的异养呼吸占土壤呼吸的比例分别为 61% 和 67%。在基于较多观测样本的基础上,利用数据集成分析的方法建立异养呼吸与其他呼吸组分(土壤呼吸或自养呼吸)的经验统计模型可有效模拟异养呼吸的数值。例如: Bond-Lamberty 等^[8]对不同生态系统中观测的年异养呼吸量和年土壤呼吸量建立了两者之间的定量关系,指出分别进行对数转换后两者之间的关系可用线性方程描述; 陈光水等^[9]的研究表明异养呼吸与自养呼吸之间的关系可用线性方程描述。虽然以往已有较多关于中国不同陆地生态系统土壤呼吸的观测研究,但系统分析异养呼吸与土壤呼吸关系的研究较少,对于异养呼吸的模拟研究也较为鲜见。

本研究通过文献调研建立了的异养呼吸及相关环境因子的数据集,分析异养呼吸的影响因素并建立了经验统计模型,以期为进一步准确地研究中国陆地

生态系统碳循环过程提供一定理论依据和数据支撑。

1 材料与方法

1.1 数据资料

进行文献调研,文献来源为中国期刊网和 SCI 源刊,收集了国内外公开发表的关于中国陆地生态系统中土壤异养呼吸的数据,同时收集整理了试验地点气候资料和环境因子(如树木生长年龄)指标(表 1)。数据资料中,森林生态系统的观测样本共 54 个,农田生态系统的观测样本共 14 个,草地生态系统的观测数据 1 个。森林生态系统的林型包括: 针阔混交林、落叶阔叶林、落叶针叶林、落叶阔叶林、常绿阔叶林、常绿针叶林,这些森林类型涵盖了绝大多数的陆地森林生态系统类型,并且具有地域代表性。

表 1 不同地点土壤异养呼吸及相关环境和地理因子¹⁾

Table 1 Soil heterotrophic respiration and relevant environmental and geographic factors in different sites

纬度	经度	时间段	R_h /kg·(m ² ·a) ⁻¹	R_s /kg·(m ² ·a) ⁻¹	AP /m	MAT /°C	EL /km	TA /a	类型	地理位置	文献
45°24'N	127°40'E	2004-01~2004-12	0.540	0.951	0.521	5.84	0.300	55	BNMF	帽儿山	[6]
45°24'N	127°40'E	2004-01~2004-12	0.412	0.892	0.521	5.84	0.300	50	DBF	帽儿山	[6]
45°24'N	127°40'E	2004-01~2004-12	0.410	0.812	0.521	5.84	0.300	55	DBF	帽儿山	[6]
45°24'N	127°40'E	2004-01~2004-12	0.405	0.678	0.521	5.84	0.300	56	DBF	帽儿山	[6]
45°24'N	127°40'E	2004-01~2004-12	0.395	0.596	0.521	5.84	0.300	39	DNF	帽儿山	[6]
45°24'N	127°40'E	2004-01~2004-12	0.335	0.451	0.521	5.84	0.300	47	DNF	帽儿山	[6]
33°23'N	108°30'E	1998-01~1998-12	0.520	0.771	1.041	15.28		45	DBF	火塘池	[7]
33°23'N	108°30'E	1998-01~1998-12	0.371	0.609	1.041	15.28		55	DNF	火塘池	[7]
26°13'N	117°32'E	2002-01~2002-12	0.772	1.502	1.865	20.90		32	EBF	三明	[12]
26°13'N	117°32'E	2002-01~2002-12	0.598	1.045	1.865	20.90			EBF	三明	[12]
26°13'N	117°32'E	2002-01~2002-12	0.298	0.509	1.865	20.90			ENF	三明	[12]
26°13'N	117°32'E	2002-01~2002-12	0.669	1.246	1.002	21.20			EBF	三明	[12]
26°13'N	117°32'E	2002-01~2002-12	0.487	0.843	1.002	21.20			EBF	三明	[12]
26°13'N	117°32'E	2002-01~2002-12	0.245	0.399	1.002	21.20			ENF	三明	[12]
29°41'N	91°21'E	1999-09~2000-08	0.314	0.570	0.558	8.39	3.688		CL	拉萨	[13]
29°41'N	91°21'E	2000-09~2001-08	0.323	0.588	0.515	6.93	3.688		CL	拉萨	[13]
33°28'N	111°56'E	2006-01~2006-12	0.521	1.105	0.900	15.10	1.350	40	DBF	内乡	[14]
33°28'N	111°56'E	2006-01~2006-12	0.469	0.779	0.900	15.10	1.270	85	DBF	内乡	[14]
33°28'N	111°56'E	2006-01~2006-12	0.458	0.821	0.900	15.10	1.290	50	BNMF	内乡	[14]
33°28'N	111°56'E	2006-01~2006-12	0.564	0.912	0.900	15.10	1.290	35	BNMF	内乡	[14]
33°28'N	111°56'E	2006-01~2006-12	0.510	0.900	0.900	15.10	1.300	45	DBF	内乡	[14]
31°20'N	110°30'E	2009-01~2009-12	0.480	0.624	1.124	16.21	0.780	20	EBF	神农架	[15]
31°19'N	110°29'E	2009-01~2009-12	0.545	0.580	1.124	16.21	1.670	45	BNMF	神农架	[15]
31°19'N	110°30'E	2009-01~2009-12	0.572	0.627	1.124	16.21	1.970	75	EBF	神农架	[15]
31°28'N	110°18'E	2009-01~2009-12	0.346	0.452	1.124	16.21	2.570	85	DNF	神农架	[15]
31°16'N	105°27'E	2005-01~2005-12	0.383	0.655	0.883	16.47	0.410	35	BNMF	盐亭	[16, 17]
30°18'N	103°00'E	2008-01~2008-12	0.355	0.592	1.354	16.55	0.660	19	EBF	雅安	[18]
31°35'N	102°35'E	2008-01~2008-12	0.705	1.070	0.722	3.97	3.210	100	ENF	理县	[19]
31°35'N	102°35'E	2008-01~2008-12	0.590	1.004	0.722	3.97	3.205	22	ENF	理县	[19]
31°35'N	102°35'E	2008-01~2008-12	0.615	0.975	0.722	3.97	3.110	65	ENF	理县	[19]
31°35'N	102°35'E	2008-01~2008-12	0.545	0.792	0.722	3.97	3.230	35	ENF	理县	[19]
28°07'N	113°02'E	2007-01~2007-12	0.371	0.496	1.016	18.57	0.080	18	DNF	天际岭	[20]

续表 1

纬度	经度	时间段	R_h /kg·(m ² ·a) ⁻¹	R_s /kg·(m ² ·a) ⁻¹	AP /m	MAT /°C	EL /km	TA /a	类型	地理位置	文献
28°07'N	113°02'E	2008-01~2008-12	0.310	0.488	1.350	18.13	0.080	18	DNF	天际岭	[20]
21°51'N	101°12'E	2008-03~2009-02	0.738	1.007	1.901	19.10	0.756	200	EBF	西双版纳	[21]
21°56'N	101°15'E	2008-03~2009-02	0.462	0.780	1.901	15.85	0.580	30	EBF	西双版纳	[21]
23°11'N	112°33'E	2003-04~2004-03	1.038	1.580	1.429	19.70	0.260	400	EBF	鼎湖山	[22]
23°11'N	112°33'E	2003-04~2004-03	0.751	1.001	1.429	19.70	0.260	100	BNMF	鼎湖山	[22]
23°11'N	112°33'E	2003-04~2004-03	0.446	0.578	1.429	19.70	0.250	55	ENF	鼎湖山	[22]
26°48'N	109°30'E	2006-01~2006-12	0.834	1.516	1.967	20.17	0.410		DNF	建瓯	[9]
26°48'N	109°30'E	2006-01~2006-12	0.578	1.244	1.967	20.17	0.420		EBF	建瓯	[9]
25°41'N	116°25'E	2006-01~2006-12	0.768	1.930	2.005	17.85	0.400		EBF	长汀	[23]
25°41'N	116°25'E	2006-01~2006-12	0.565	1.660	2.005	17.85	0.400		DNF	长汀	[23]
25°41'N	116°25'E	2006-01~2006-12	0.693	0.964	2.005	17.85	0.400		GL	长汀	[23]
26°12'N	117°26'E	2001-01~2001-12	0.736	1.423	1.976	17.43			EBF	三明	[23]
26°12'N	117°26'E	2001-01~2001-12	0.576	0.981	1.976	17.43			EBF	三明	[23]
26°12'N	117°26'E	2001-01~2001-12	0.282	0.477	1.976	17.43			ENF	三明	[23]
22°34'N	112°50'E	2008-10~2009-09	0.391	0.594	1.290	21.70		4	BNMF	鹤山	[9]
29°95'N	103°38'E	2010-02~2011-01	0.219	0.427	1.397	16.36	0.600		EBF	洪雅	[24]
47°06'N	126°08'E	2005-01~2005-12	0.248	0.287	0.548	2.39			CL	海伦	[25]
47°06'N	126°08'E	2005-01~2005-12	0.327	0.377	0.548	2.39			CL	海伦	[25]
47°06'N	126°08'E	2005-01~2005-12	0.286	0.330	0.548	2.39			CL	海伦	[25]
47°06'N	126°08'E	2005-01~2005-12	0.354	0.409	0.548	2.39			CL	海伦	[25]
47°06'N	126°08'E	2006-01~2006-12	0.420	0.486	0.542	4.23			CL	海伦	[25]
47°06'N	126°08'E	2006-01~2006-12	0.563	0.651	0.542	4.23			CL	海伦	[25]
47°06'N	126°08'E	2006-01~2006-12	0.411	0.475	0.542	4.23			CL	海伦	[25]
47°06'N	126°08'E	2006-01~2006-12	0.589	0.681	0.542	4.23			CL	海伦	[25]
47°06'N	126°08'E	2007-01~2007-12	0.487	0.563	0.457	5.59			CL	海伦	[25]
47°06'N	126°08'E	2007-01~2007-12	0.585	0.676	0.457	5.59			CL	海伦	[25]
47°06'N	126°08'E	2007-01~2007-12	0.507	0.586	0.457	5.59			CL	海伦	[25]
47°06'N	126°08'E	2007-01~2007-12	0.593	0.685	0.457	5.59			CL	海伦	[25]
23°10'N	112°32'E	2010-01~2010-12	0.950	1.574	1.682	20.84	0.285		ENF	鼎湖山	[26]
23°10'N	112°32'E	2010-01~2010-12	0.973	1.472	1.682	20.84	0.220		BNMF	鼎湖山	[26]
23°10'N	112°32'E	2010-01~2010-12	1.018	1.854	1.682	20.84	0.075		EBF	鼎湖山	[26]
35°15'N	118°04'E	2010-01~2010-12	0.473	1.033	0.695	13.75		11	DBF	临沂	[27]
35°15'N	118°04'E	2011-01~2011-12	0.378	0.804	0.720	13.70		20	DBF	临沂	[27]
35°15'N	118°04'E	2010-01~2010-12	0.416	0.969	0.695	13.75		11	DBF	临沂	[27]
35°15'N	118°04'E	2011-01~2011-12	0.352	0.776	0.720	13.70		20	DBF	临沂	[27]
36°26'N	109°32'E	2010-01~2010-12	0.991	1.393	0.512	10.18	1.353	60	DBF	公路山	[28]
36°26'N	109°32'E	2010-01~2010-12	0.844	1.044	0.512	10.18	1.353	30	DBF	公路山	[28]

1) R_h , 土壤异养呼吸(以每年每平方米的纯碳量计); R_s , 土壤呼吸(以每年每平方米的纯碳量计); AP, 年降水量; MAT, 年均气温; EL, 海拔; TA, 树龄; BNMF, 针阔混交林; DBF, 落叶阔叶林; DNF, 落叶针叶林; DBF, 落叶阔叶林; EBF, 常绿阔叶林; ENF, 常绿针叶林; CL, 农田; GL, 草地

1.2 数据分析

对数据进行一元回归,分析异养呼吸与土壤呼吸、年降水量、年平均温度及树龄等变量的关系;将异养呼吸与土壤呼吸的比值作为因变量,分析该变量与年降水量、年平均温度及树龄等变量的关系。

采用 Chen 等^[10]提出的基于年平均气温、年总降水量、表土(0~20 cm)有机碳含量的土壤呼吸模型估算中国陆地生态系统土壤呼吸的量值。在 ArcGIS 9.3 系统平台中,采用 10 km × 10 km 栅格方

式的空间划分方案。输入参数各图层的每个栅格一一对应,将各观测站点的气象数据、表土有机碳储量数据进行 Kriging 插值作图形成栅格数据。采用比例尺为 1:1 000 000 的中国地图^[11];将各数据层作为输入参数代入估算模型中运算,最终得到中国陆地生态系统土壤呼吸空间分布情况。继而根据 Bond-Lamberty 等^[8]提出的土壤呼吸与异养呼吸的关系模型[即: $\ln(R_h) = 1.22 + 0.73 \ln(R_s)$]得到中国陆地生态系统异养呼吸的空间分布情况。将模型估算的土壤异养呼吸值与实际观测的异养呼吸值进

行一元线性回归,分析模拟值与实测值之间的关系。

2 结果与分析

2.1 异养呼吸的影响因素分析

对调研的数据进行回归分析可见,异养呼吸与土壤呼吸的关系可用幂函数方程描述(图1),异养呼吸随土壤呼吸的增大而增大,该幂函数方程可解释异养呼吸 73% ($R^2 = 0.730$, $P < 0.001$) 的变异. 异养呼吸与年总降水量以及年平均气温的关系均可用一元线性方程描述[图2(a)、2(b)],随年总降水量的增大和年平均气温的升高,异养呼吸均显著增大,相比较而言,年总降水量对异养呼吸的影响要大于年平均气温,前者与异养呼吸的回归方程的 $P = 0.003$,后者与异养呼吸的回归方程的 $P = 0.018$. 除降水和温度两个因素外,不同观测站点的异养呼吸也与树木年龄有关,两者之间的关系可用一元线

性回归方程描述, P 值达极显著水平[图2(c)]. 以海拔高度(EL)和树龄(TA)两因素建立的逐步回归方程可描述异养呼吸(R_h) 41% ($R^2 = 0.41$, $P < 0.001$) 的变异,其拟合方程为 $R_h = 0.049EL + 0.002TA$.

异养呼吸占土壤呼吸的比例与年总降水量、年平均气温的关系均可用对数回归方程描述,异养呼吸占土壤呼吸的比例随年总降水量的增大和年平均气温的升高而减小,拟合方程的 P 值均达极显著水平[图3(a)、3(b)]. 异养呼吸占土壤呼吸的比例随树龄的增大而增大,两者之间的关系可用幂函数方程描述[图3(c)]. 此外,异养呼吸占土壤呼吸的比例随土壤呼吸的增大而降低(图4),这表明在土壤呼吸量越大的地区,异养呼吸组分所占比例相对更低,而自养呼吸组分所占比例相对更高。

2.2 异养呼吸的空间分布与验证分析

从空间分布上来看,中国陆地生态系统土壤异养呼吸呈现出明显的区域分布的特点(图5),总体上异养呼吸在空间上可划分为3个区域,分别为:南方地区、西北及青藏高原地区、东北及华北地区. 异养呼吸量最高的区域主要集中在南方地区,这与我国南方地区气温较高、降水量较大有关;东北部分地区的异养呼吸量也相对较高,这很可能与该区域土壤有机碳储量较高有关;而西北内陆地区和青藏高原的异养呼吸量相对很低,这与这些地区降水量较少、温度较低和土壤本底有机碳含量较低有关。

为进一步验证经验模型模拟的结果的准确性,将模拟值与实际样地观测结果进行回归分析,结果表明实测值与模拟值之间的关系为显著的正比例关系,方程斜率为 1.037,非常接近 1:1 的比例关系,方

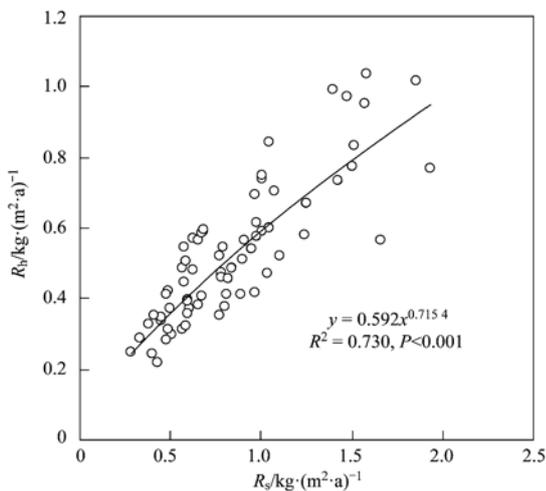


图1 土壤异养呼吸(R_h)与土壤呼吸(R_s)的关系

Fig. 1 Relationship between soil heterotrophic respiration and soil respiration

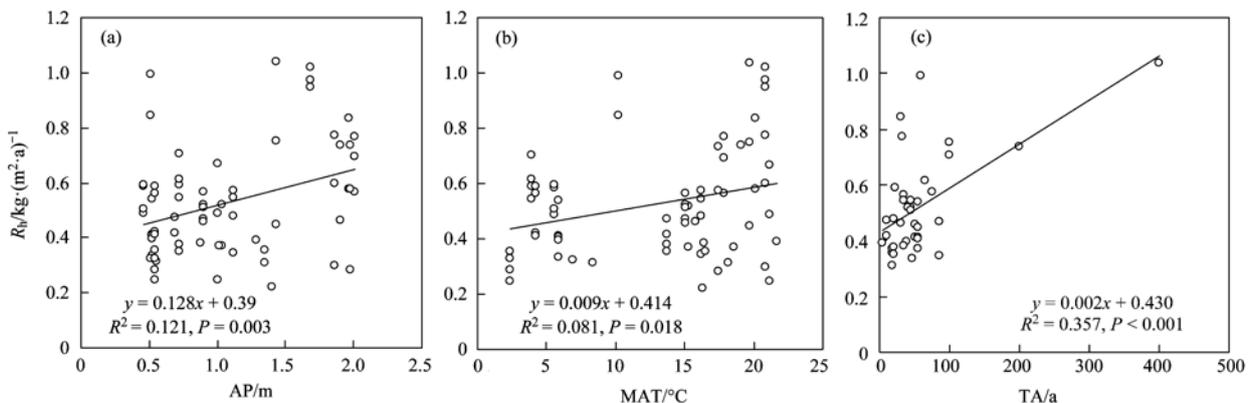


图2 土壤异养呼吸(R_h)与年降水量(AP)、年平均气温(MAT)及树龄(TA)的关系

Fig. 2 Relationship between soil heterotrophic respiration and annual precipitation/mean air temperature/tree age

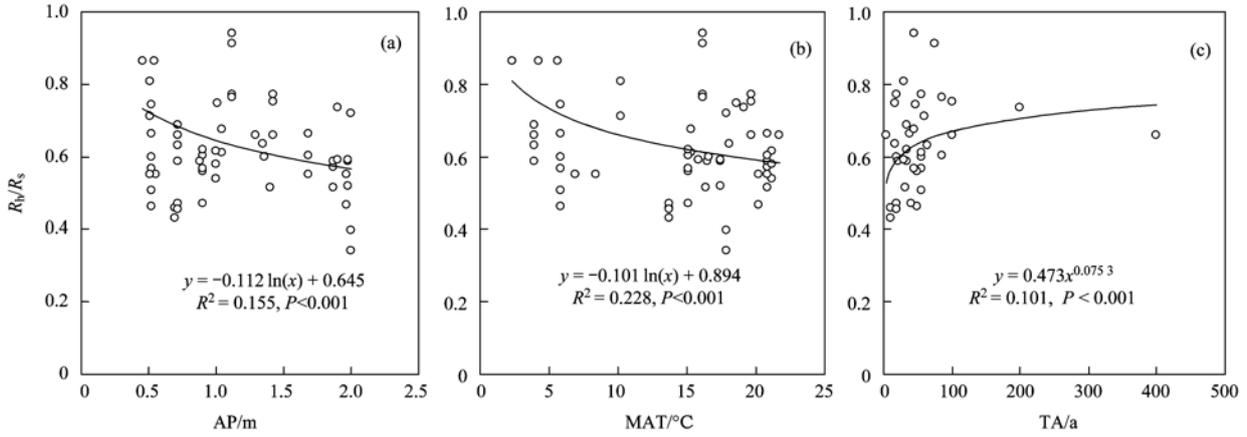


图 3 异养呼吸占土壤呼吸的比例 (R_h/R_s) 与年降水量 (AP)、年平均气温 (MAT) 及树龄 (TA) 的关系

Fig. 3 Relationship between the ratio of heterotrophic respiration to soil respiration and annual precipitation/mean air temperature/tree age

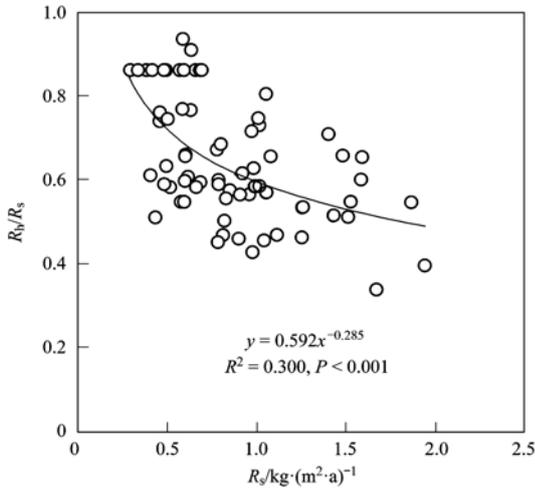


图 4 土壤异养呼吸占土壤呼吸的比例 (R_h/R_s) 与土壤呼吸 (R_s) 的关系

Fig. 4 Relationship between the ratio of heterotrophic respiration to soil respiration and soil respiration

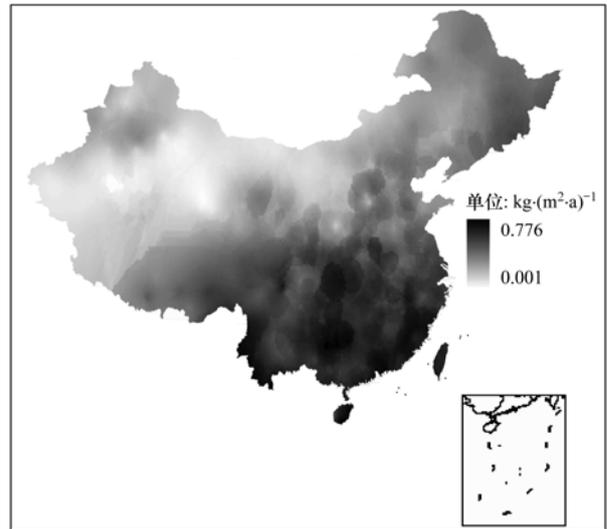


图 5 2000 年中国陆地生态系统土壤异养呼吸空间分布
Fig. 5 Spatial distribution of soil heterotrophic respiration from terrestrial ecosystems in China in 2000

程的决定系数 $R^2 = 0.570$, P 值达极显著水平 (图 6)。这些结果表明采用经验模型模拟得到的异养呼吸量值与实际观测值之间具有很好的可比性。

3 讨论

3.1 异养呼吸的影响因素

本研究表明,中国陆地生态系统异养呼吸速率与年均气温和年均降水量均呈显著正相关,这与土壤呼吸与年均气温和年均降水量均呈显著相关的结果类似,这说明温度、降水不仅影响土壤呼吸而且影响其异养呼吸组分。陈光水等^[9]发现中国森林土壤呼吸与年降水量的相关性高于年均气温,本研究也表明中国陆地生态系统异养呼吸与年降水量的相关性高于年均气温。在不同地区,影响异养呼吸的

限制性因子存在差异,对于干旱半干旱区,水分是主要限制性因子,而对于青藏高原和东北地区的气温较低季节,温度则是主要的限制性因子,本研究中显示温度对异养呼吸的相关性稍弱可能也跟大部分相关观测都选择在温度条件相对适宜的地区进行测定有关,在这些区域温度对异养呼吸的限制作用比水分的限制作用相对更小^[29]。

Irvine 等^[30]观察到老龄西黄松林比幼龄林具有更高的土壤呼吸,他们认为这可能与老龄林立地上有较大的生产力和易分解的碎屑有关。Raich 等^[31]的研究表明全球成龄森林生态系统中土壤呼吸速率随凋落物和林地生产力的增加而增加。本研究与以往的研究基本一致,随森林年龄增大,植被生物量增加,根生物量会增大,植物凋落物和根、树皮中的可

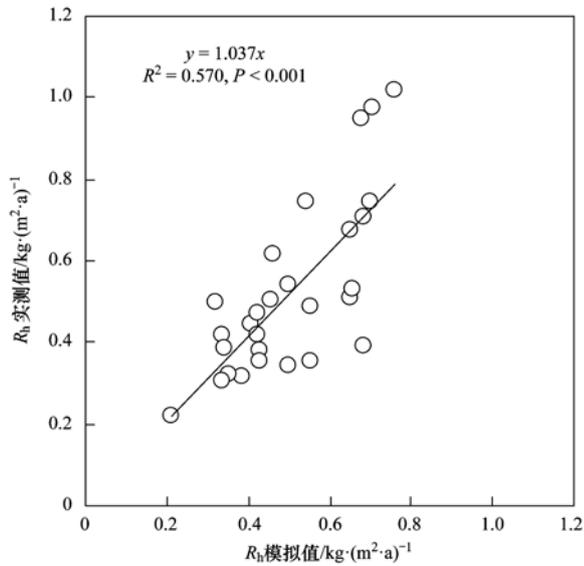


图6 土壤异养呼吸(R_h)实测值与模拟值的关系

Fig. 6 Relationship between measured and modeled soil heterotrophic respiration

分解组分量也可能会增多,这些组分必然会输入到土壤中并增加土壤微生物的碳营养源,由此造成异养呼吸量会增大,且异养呼吸占土壤呼吸的比例也相应增大。

在土壤呼吸量越大的地区,这些地区一般处于东南沿海等低纬度区域,植被生产力相对较高,根生物量也相对更大,而根生物量与自养呼吸相关^[32],这可能会造成自养呼吸量变大,因而异养呼吸组分所占土壤呼吸比例相对更低。

在本研究的数据集中,仅拉萨和海伦两个站点为受人类干扰程度较大的农田生态系统,其余各站点均为森林或草地自然生态系统(表1),因而人类干扰程度对土壤异养呼吸的影响相对较小。此外,图1表明,异养呼吸与土壤呼吸之间呈极显著的幂函数关系,由于土壤呼吸随土壤有机碳储量的增大而增大^[10, 32],因而异养呼吸也随土壤有机碳储量的增大而增大。然而,由于异养呼吸与总土壤呼吸存在正相关关系,两者具有共同的增减趋势,因而两者比例可能与土壤有机碳储量的关系不显著。

3.2 异养呼吸与土壤呼吸的关系

中国陆地生态系统土壤呼吸中异养呼吸所占比例为34%~94%(表2),基本在以往报道的异养呼吸占土壤呼吸的比例(10%~90%)范围内^[33],中国陆地生态系统异养呼吸所占比例的平均值为65%,与世界范围内异养呼吸占土壤呼吸的比例基本接近^[5]。

Bond-Lamberty等^[8]发现取对数后的异养呼吸与土壤呼吸量值之间的关系可用线性方程拟合,本研究表明异养呼吸与土壤呼吸之间的关系可用指数方程拟合,且方程的决定系数 R^2 高于Bond-Lamberty等^[8]的方程的 R^2 。此外,异养呼吸与土壤呼吸的比例与土壤呼吸的幂函数回归关系也与Bond-Lamberty等^[8]的研究结果基本一致,这说明无论是在中国陆地生态系统中还是全球陆地生态系统中均会呈现出随着土壤呼吸量的增大异养呼吸所占比例会下降的趋势。

本研究中,在某些观测站点针对不同的小区域(如植被覆被类型)又有多次观测,由于其植被情况存在差异,因而其中的每一个观测值在影响因素分析时均作为一个独立样本进行回归分析,在此过程中实际上考虑了温度和水分条件的差异。而在模拟值与实际样地观测结果进行回归分析时(图6),由于在宏观尺度上的异养呼吸数值与某个观测站点的多个样本可能存在较大差异,因而在模型验证分析中以多个异养呼吸测定结果的平均值作为观测值进行验证。在今后的研究中,异养呼吸影响因素的准确分析和数值模拟依赖于更多的野外系统观测数据并需考虑温度、水分、植被、土壤等多种因素的综合作用。

4 结论

(1) 异养呼吸与土壤呼吸的关系可用幂函数方程描述,异养呼吸随土壤呼吸的增大而增大。异养呼吸与年总降水量以及年平均气温的关系均可用一元线性方程描述。

(2) 中国陆地生态系统土壤呼吸中异养呼吸所占比例为34%~94%,异养呼吸占土壤呼吸比例的平均值为65%。

(3) 采用经验模拟模型与实际样地观测值进行回归分析的结果为显著的正比例关系,采用经验模型模拟得到的异养呼吸量值与实际观测值之间具有可比性。

参考文献:

- [1] Schimel D S. Terrestrial ecosystems and the carbon cycle [J]. *Global Change Biology*, 1995, **1**(1): 77-91.
- [2] Singh J S, Gupta S R. Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems [J]. *The Botany Review*, 1977, **43**(4): 449-528.
- [3] Hibbard K A, Law B E, Reichstein M, et al. An analysis of soil respiration across northern hemisphere temperate ecosystems [J]. *Biogeochemistry*, 2005, **73**(1): 29-70.

- [4] Bond-Lamberty B, Thomson A. Temperature-associated increases in the global soil respiration record [J]. *Nature*, 2010, **464** (7288): 579-582.
- [5] Raich J W, Schlesinger W H. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate [J]. *Tellus*, 1992, **44**(2): 81-99.
- [6] 杨金艳, 王传宽. 东北东部森林生态系统土壤碳贮量和碳通量[J]. *生态学报*, 2005, **25**(11): 2875-2882.
- [7] 刘建军, 王得祥, 雷瑞德, 等. 秦岭天然油松、锐齿栎林地土壤呼吸与 CO₂ 释放[J]. *林业科学*, 2003, **39**(2): 8-13.
- [8] Bond-Lamberty B, Wang C K, Gower S T. A global relationship between the heterotrophic and autotrophic components of soil respiration [J]. *Global Change Biology*, 2004, **10**(10): 1756-1766.
- [9] 陈光水, 杨玉盛, 吕萍萍, 等. 中国森林土壤呼吸模式[J]. *生态学报*, 2008, **28**(4): 1748-1761.
- [10] Chen S T, Huang Y, Zou J W, *et al.* Modeling interannual variability of global soil respiration from climate and soil properties [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2010, **150** (4): 590-605.
- [11] Zou J W, Lu Y Y, Huang Y. Estimates of synthetic fertilizer N - induced direct nitrous oxide emission from Chinese croplands during 1980 - 2000 [J]. *Environmental Pollution*, 2010, **158** (2): 631-635.
- [12] 杨玉盛, 陈光水, 王小国, 等. 中国亚热带森林转换对土壤呼吸动态及通量的影响[J]. *生态学报*, 2005, **25**(7): 1684-1690.
- [13] Shi P L, Zhang X Z, Zhong Z M, *et al.* Diurnal and seasonal variability of soil CO₂ efflux in a cropland ecosystem on the Tibetan Plateau [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2006, **137**(3-4): 220-233.
- [14] 常建国, 刘世荣, 史作民, 等. 北亚热带-南温带过渡区典型森林生态系统土壤呼吸及其组分分离[J]. *生态学报*, 2007, **27**(5): 1791-1802.
- [15] 罗璐, 申国珍, 谢宗强, 等. 神农架海拔梯度上 4 种典型森林的土壤呼吸组分及其对温度的敏感性[J]. *植物生态学报*, 2011, **35**(7): 722-730.
- [16] Wang X G, Zhu B, Li C S, *et al.* Dissecting soil CO₂ fluxes from a subtropical forest in China by integrating field measurements with a modeling approach [J]. *Geoderma*, 2011, **161**(1): 88-94.
- [17] 王小国, 朱波, 高美荣, 等. 川中丘陵区桉柏混交林地土壤 CO₂ 释放与 Forest-DNDC 模型模拟[J]. *北京林业大学学报*, 2008, **30**(2): 27-32.
- [18] 李仁洪, 涂利华, 胡庭兴, 等. 模拟氮沉降对华西雨屏区慈竹林土壤呼吸的影响[J]. *应用生态学报*, 2010, **21**(7): 1649-1655.
- [19] 周非飞, 林波, 刘庆, 等. 青藏高原东缘不同林龄云杉林冬季土壤呼吸特征[J]. *应用与环境生物学报*, 2009, **15**(6): 761-767.
- [20] 朱凡, 王光军, 田大伦, 等. 杉木人工林去除根系土壤呼吸的季节变化及影响因子[J]. *生态学报*, 2010, **30**(9): 2499-2506.
- [21] 卢华正, 沙丽清, 王君, 等. 西双版纳热带季节雨林与橡胶林土壤呼吸的季节变化[J]. *应用生态学报*, 2009, **20**(10): 2315-2322.
- [22] Yang J H, Wang Y P, Zhou G Y, *et al.* Estimates of soil respiration and net primary production of three forests at different succession stages in South China [J]. *Global Change Biology*, 2006, **12**(5): 810-821.
- [23] Yang Y S, Chen G S, Guo J F, *et al.* Soil respiration and carbon balance in a subtropical native forest and two managed plantations [J]. *Plant Ecology*, 2007, **193**(1): 71-84.
- [24] 田祥宇, 涂利华, 胡庭兴, 等. 华西雨屏区苦竹人工林土壤呼吸各组分特征及其温度敏感性[J]. *应用生态学报*, 2012, **23**(2): 293-300.
- [25] 梁尧, 韩晓增, 乔云发, 等. 小麦-玉米-大豆轮作下黑土农田土壤呼吸与碳平衡[J]. *中国生态农业学报*, 2012, **20**(4): 395-401.
- [26] 韩天丰, 周国逸, 李跃林, 等. 中国南亚热带森林不同演替阶段土壤呼吸的分离量化[J]. *植物生态学报*, 2011, **35** (9): 946-954.
- [27] 董彬. 土壤温度和湿度对鲁东南杨树人工林土壤呼吸的协同影响[J]. *生态环境学报*, 2012, **21**(5): 864-869.
- [28] Shi W Y, Zhang J G, Yan M J, *et al.* Seasonal and diurnal dynamics of soil respiration fluxes in two typical forests on the semiarid Loess Plateau of China: Temperature sensitivities of autotrophs and heterotrophs and analyses of integrated driving factors [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2012, **52**: 99-107.
- [29] 陈书涛, 朱大威, 牛传坡, 等. 管理措施对农田生态系统土壤呼吸的影响[J]. *环境科学*, 2009, **30**(10): 2858-2865.
- [30] Irvine J, Law B E. Contrasting soil respiration in young and old growth ponderosa pine forests [J]. *Global Change Biology*, 2002, **8**(12): 1183-1193.
- [31] Raich J W, Nadelhoffer K J. Belowground carbon allocation in forest ecosystems: global trends [J]. *Ecology*, 1989, **70**(5): 1346-1354.
- [32] 陈书涛, 胡正华, 张勇, 等. 陆地生态系统土壤呼吸时空变异的影响因素研究进展[J]. *环境科学*, 2011, **32**(8): 2184-2192.
- [33] Hanson P J, Edwards N T, Garten C T, *et al.* Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: A review of methods and observations [J]. *Biogeochemistry*, 2000, **48**(1): 115-146.

CONTENTS

An Assessment of PM _{2.5} Related Health Risks and Impaired Values of Beijing Residents in a Consecutive High-Level Exposure During Heavy Haze Days	XIE Yuan-bo, CHEN Juan, LI Wei (1)
Seasonal Variation of Water-Soluble Ions in PM _{2.5} at Changbai Mountain	ZHAO Ya-nan, WANG Yue-si, WEN Tian-xue, <i>et al.</i> (9)
Variation of Atmospheric Particle Number Concentrations in Qingdao and Its Impact on Visibility	KE Xin-shu, SHENG Li-fang, KONG Jun, <i>et al.</i> (15)
Concentrations of PCDD/Fs in the Atmosphere of Chongqing City and Its Seasonal Variation	ZHANG Xiao-ling, LU Yi, ZHU Ming-ji, <i>et al.</i> (22)
Atmospheric Emission of PCDD/Fs from Secondary Aluminum Metallurgy Industry in the Southwest Area, China	LU Yi, ZHANG Xiao-ling, GUO Zhi-shun, <i>et al.</i> (30)
Atmospheric Emission of PCDD/Fs from Modern Dry Processing Cement Kilns with Preheating in the Southwest Area, China	ZHANG Xiao-ling, LU Yi, JIAN Chuan, <i>et al.</i> (35)
Pollution Status and Characteristics of PBDEs in Indoor Air of Hangzhou	JIANG Xin-wei, SUN Xin, PEI Xiao-qiang, <i>et al.</i> (41)
Size Distribution of Particle and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Particle Emissions from Simulated Emission Sources	FU Hai-huan, TIAN Na, SHANG Hui-bin, <i>et al.</i> (46)
Atmospheric Deposition Fluxes and Seasonal Variations of Elements in Northeast of Sichuan, Central China	TONG Xiao-ning, ZHOU Hou-yun, YOU Chen-feng, <i>et al.</i> (53)
Trend in Acid Deposition at Tieshanping, Chongqing During 2001-2010	YU De-xiang, MA Xiao-xiao, TAN Bing-quan, <i>et al.</i> (60)
Wet Deposition of Atmospheric Nitrogen of the Jinshui Watershed in the Upper Hanjiang River	WANG Jin-jie, ZHANG Ke-rong, WU Chuan, <i>et al.</i> (66)
Chemical Compositions of <i>n</i> -Alkanoic Acids in Wheat Straw and Its Smoke	LIU Gang, LI Jiu-hai, WU Dan, <i>et al.</i> (73)
Magnetic Properties of Indoor Dustfall at Different Heights in Lanzhou	WU Duo, WEI Hai-tao, ZHAO Rui-rui, <i>et al.</i> (79)
Mercury Fluxes from Conifer-Broadleaf Forested Field in Central Subtropical Forest Zone	MA Ming, WANG Ding-yong, SHEN Yuan-yuan, <i>et al.</i> (85)
Impacts of Rice Straw Biochar on Organic Carbon and CO ₂ Release in Arable Soil	KE Yue-jin, HU Xue-yu, YI Qing, <i>et al.</i> (93)
Geochemical Distribution of Dissolved Bismuth in the Yellow Sea and East China Sea	WU Xiao-dan, SONG Jin-ming, WU Bin, <i>et al.</i> (100)
Temporal-spatial Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in the Upper Reaches of Hunhe River (Qingyuan Section), Northeast China	MA Ying-qun, SHI Yao, QIN Yan-wen, <i>et al.</i> (108)
Determination of Estrogenic Compounds in Water of Jiulong River Using Polar Organic Chemical Integrative Sampler	ZHANG Li-peng, WANG Xin-hong, LI Yong-yu, <i>et al.</i> (117)
Variation Characteristics and Environmental Significant of Trace Elements Under Rainfall Condition in Karst Groundwater	CHEN Xue-bin, YANG Ping-heng, LAN Jia-cheng, <i>et al.</i> (123)
Major Ion Chemistry of Surface Water in the Xilin River Basin and the Possible Controls	TANG Xi-wen, WU Jin-kui, XUE Li-yang, <i>et al.</i> (131)
Forms and Spatial Distribution Characteristics of Nitrogen in Ziya River Basin	ZHAO Yu, SHAN Bao-qing, ZHANG Wen-qiang, <i>et al.</i> (143)
Impact of Rice Agriculture on Nitrogen and Phosphorus Exports in Streams in Hilly Red Soil Earth Region of Central Subtropics	SONG Li-fang, WANG Yi, WU Jun-shui, <i>et al.</i> (150)
Study on Distribution of Phosphorus in Surface Sediments of the Yellow Sea and the East China Sea	SONG Guo-dong, LIU Su-mei, ZHANG Guo-ling (157)
Characterization and Optimization of the NaOH-EDTA Extracts for Solution ³¹ P-NMR Analysis of Organic Phosphorus in River Sediments	ZHANG Wen-qiang, SHAN Bao-qing, ZHANG Hong, <i>et al.</i> (163)
Regeneration and Transformation of BAPP in Suspended Solids Under Short-term Sediment Disturbance	WU Xiao-fei, LI Da-peng, WANG Ming (171)
Sediment Risk Assessment and Heavy Metal Source Analysis in Typical Country Water Level Fluctuated Zone (WLFZ) of the Three Gorges	AO Liang, LEI Bo, WANG Ye-chun, <i>et al.</i> (179)
Pollution Distribution and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments from the Different Eastern Dredging Regions of Lake Taihu	MAO Zhi-gang, GU Xiao-hong, LU Xiao-ming, <i>et al.</i> (186)
Study on the Stages of Major Sediments in Dianchi Lake	WANG Xin-yu, ZHOU Feng, YI Xuan, <i>et al.</i> (194)
Oil Spill Identification Using Partial Surface Fitting Method Based on Concentration-Synchronous-Matrix-Fluorescence Spectra	WANG Chun-yan, SHI Xiao-feng, LI Wen-dong, <i>et al.</i> (202)
Treatment of Sludge Liquor Produced in Deep Dehydration by Photoelectro-Fenton Process	WANG Xian-li, WANG Shi-feng, WU Jun-feng, <i>et al.</i> (208)
Characteristics of Nitrification and Denitrification for Simultaneous Nitrogen and Phosphorus Removal by Granular Sludge	LIU Xiao-ying, LIN Hui, MA Zhao-rui, <i>et al.</i> (214)
Study on Long-Term Stability of Biological Nitrogen Removal via Nitrite from Real Landfill Leachate	SUN Hong-wei, GUO Ying, PENG Yong-zhen (221)
Compositions and Residual Properties of Petroleum Hydrocarbon in Contaminated Soil of the Oilfields	HU Di, LI Chuan, DONG Qian-qian, <i>et al.</i> (227)
Dynamics of the Mineralization and Transformation of Rice Photosynthesized Carbon in Paddy Soils - a Batch Incubation Experiment	TAN Li-min, PENG Pei-qin, LI Ke-lin, <i>et al.</i> (233)
Effects of Land Use and Abandonment on Soil Labile Organic Carbon in the Karst Region of Southwest China	LIAO Hong-kai, LI Juan, LONG Jian, <i>et al.</i> (240)
Aluminum Dissolution and Changes of pH in Soil Solution During Sorption of Copper by Aggregates of Paddy Soil	XU Hai-bo, ZHAO Dao-yuan, QIN Chao, <i>et al.</i> (248)
Effect of Cr(VI) Anions on the Cu(II) Adsorption Behavior of Two Kinds of Clay Minerals in Single and Binary Solution	LIU Juan-juan, LIANG Dong-li, WU Xiao-long, <i>et al.</i> (254)
Effect of Flooding Time Length on Mycorrhizal Colonization of Three AM Fungi in Two Wetland Plants	MA Lei-meng, WANG Peng-teng, WANG Shu-guang (263)
Preliminary Study on the Relationship Between the Water Quality and the Aquatic Biological Health Status of Taihu Lake	ZHOU Xiao-bai, ZHANG Ning-hong, ZHANG Yong, <i>et al.</i> (271)
Acute Toxicity of Three Typical Pollutants to Aquatic Organisms and Their Water Quality Criteria	JIANG Dong-sheng, SHI Xiao-rong, CUI Yi-bin, <i>et al.</i> (279)
Evaluation of the Acute Toxicity of Pharmaceutical Wastewater to Luminescent Bacteria	DU Li-na, YANG Fan, MU Yu-feng, <i>et al.</i> (286)
Influence of the Coexistence of Zn ²⁺ on the Enantioselective Toxicity of Metolachlor to <i>Scenedesmus obliquus</i>	HU Xiao-na, ZHANG Shu-xian, CHEN Cai-dong, <i>et al.</i> (292)
Simplification of Biotic Ligand Model and Evaluation of Predicted Results	WANG Wan-bin, CHEN Sha, WU Min, <i>et al.</i> (299)
Priority Pollutants Ranking and Screening of Coke Industry based on USEtox Model	HAO Tian, DU Peng-fei, DU Bin, <i>et al.</i> (304)
Isolation, Identification and Characterization of a Microcystin-degrading Bacterium <i>Paucibacter</i> sp. Strain CH	YOU Di-jie, CHEN Xiao-guo, XIANG Hui-yi, <i>et al.</i> (313)
Inhibition of the Activity of Sulfate-reducing Bacteria in Produced Water from Oil Reservoir by Nitrate	YANG De-yu, ZHANG Ying, SHI Rong-jiu, <i>et al.</i> (319)
Bioconversion of Cellulose to Methane by a Consortium Consisting of Four Microbial Strains	WU Jun-mei, MA An-zhou, CUI Meng-meng, <i>et al.</i> (327)
Factors Influencing the Variability in Soil Heterotrophic Respiration from Terrestrial Ecosystem in China	XIE Wei, CHEN Shu-tao, HU Zheng-hua (334)
Study on the Distinguishing of Root Respiration from Soil Microbial Respiration in a <i>Leymus chinensis</i> Steppe in Inner Mongolia, China	SHI Jing-jing, GENG Yuan-bo (341)
Nitrous Oxide Flux at the Water-Air Interface of the Rivers in Nanjing During Summer	HAN Yang, ZHENG You-fei, WU Rong-jun, <i>et al.</i> (348)
Effects of Antiseptic on the Analysis of Greenhouse Gases Concentrations in Lake Water	XIAO Qi-tao, HU Zheng-hua, James Deng, <i>et al.</i> (356)
Electricity Generation of Surplus Sludge Microbial Fuel Cell Enhanced by Biosurfactant	PENG Hai-li, ZHANG Zhi-ping, LI Xiao-ming, <i>et al.</i> (365)
Fe-ZSM-5 Catalysts with Different Silica-Alumina Ratios for N ₂ O Catalytic Decomposition	LU Ren-jie, ZHANG Xin-yan, HAO Zheng-ping (371)
Inhibition of Chlorobenzene Formation via Various Routes During Waste Incineration by Ammonium Sulfate and Urea	YAN Mi, QI Zhi-fu, LI Xiao-dong, <i>et al.</i> (380)
County Scale Characteristics of CO ₂ Emission's Spatial-Temporal Evolution in the Beijing-Tianjin-Hebei Metropolitan Region	WANG Hao, CHEN Cao-cao, PAN Tao, <i>et al.</i> (385)
Characterization and Soil Environmental Safety Assessment of Super Absorbent Polymers in Agricultural Application	LI Xi, LIU Yu-rong, ZHENG Yuan-ming, <i>et al.</i> (394)

《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1月15日 35卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 1 Jan. 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