

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, 吴川, 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)

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^{1,2}, 耿元波^{1*}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 利用根生物量回归法对内蒙古锡林河流域羊草草原根呼吸和土壤微生物呼吸进行了区分。结果表明, 根呼吸占土壤呼吸的比例在 13% ~ 52% 之间, 平均为 $(24 \pm 3)\%$; 土壤微生物呼吸占土壤呼吸的比例在 48% ~ 87% 之间, 平均为 $(76 \pm 3)\%$ 。土壤呼吸与根生物量的线性相关性不稳定。根呼吸活力与根冠比具有负指数相关关系 ($R^2 = 0.661, P = 0.20$), 与 0 ~ 10、10 ~ 20、20 ~ 30 和 30 ~ 40 cm 土壤含水量均有极显著的正指数相关关系 ($P < 0.0001$)。根呼吸与根呼吸活力具有极显著的指数相关关系 ($R^2 = 0.848, P = 0.01$), 根呼吸对土壤呼吸的贡献量与根呼吸活力具有显著的指数相关关系 ($R^2 = 0.818, P = 0.01$)。

关键词: 羊草草原; 根呼吸; 土壤微生物呼吸; 呼吸区分; 根呼吸活力

中图分类号: X144 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)01-0341-07

Study on the Distinguishing of Root Respiration from Soil Microbial Respiration in a *Leymus chinensis* Steppe in Inner Mongolia, China

SHI Jing-jing^{1,2}, GENG Yuan-bo¹

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Root biomass exponential regression method was used to distinguish root respiration from soil microbial respiration in a *Leymus Chinensis* steppe in the Xilin River Basin of Inner Mongolia, China. The contribution of root respiration to soil respiration averaged $(24 \pm 3)\%$, ranging from 13% - 52%; while the contribution of microbial respiration to soil respiration averaged $(76 \pm 3)\%$, ranging from 48% - 87%. Correlation between soil respiration and root biomass was relatively unstable. Root respiration vitality decreased exponentially with the ratio of root to shoot biomass ($R^2 = 0.661, P = 0.20$), while it increased exponentially with soil water content at 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm and 30-40 cm ($P < 0.0001$). CO_2 released by root respiration and the contribution of root respiration to soil respiration increased exponentially with root respiration vitality ($R^2 = 0.848, P = 0.01$; $R^2 = 0.818, P = 0.01$, respectively).

Key words: *Leymus chinensis* steppe; root respiration; soil microbial respiration; separation of respiration; root respiration vitality

土壤呼吸是全球陆地生态系统碳循环中一个重要的组成部分,也是植物将光合作用固定的 CO_2 重新返还到大气中的根本途径之一^[1]。土壤碳库是大气碳库的 4 倍,土壤呼吸的微小变化就能极大地影响大气 CO_2 浓度的平衡^[2],进而影响全球气候变化^[3]。因此,土壤呼吸已成为全球碳循环研究的一个重要课题^[4]。土壤呼吸以根呼吸和土壤微生物呼吸为主^[5]。土壤呼吸的定量区分有助于精确估算土壤的碳蓄积^[5,6]和评估全球变暖对土壤呼吸的潜在影响^[7]。

全球陆地生态系统中,草地约占地球陆地表面的 40.5% (不包括永久冰盖层面积)^[8]。草地生态系统碳循环的主要过程在土壤中进行^[9],其 CO_2 的排放主要来自于土壤呼吸^[10,11]。因此,草地土壤呼吸对全球生态系统碳循环的平衡具有显著的意义。羊草草原是分布于欧亚温带草原区东部的一种地带性植被类型,广泛分布于我国东北、内蒙古东部、

蒙古国东部、俄罗斯外贝加尔地区,总面积约 $4.2 \times 10^5 \text{ km}^2$,其中一半以上分布在中国,是内蒙古锡林河流域面积最大的草原类型,也是当地经济价值最高的天然草场^[12]。因此,选择羊草草原作为研究对象对其土壤呼吸进行区分具有广泛的代表意义。

根生物量回归法对土壤呼吸的区分原理是假设土壤呼吸和根生物量呈线性关系,根据根生物量梯度上土壤呼吸变化趋势外推根呼吸占土壤呼吸的比例。该方法对土壤和植物根系的扰动小,操作简单,成本低,测定值相对准确可靠,有较高的普适性。因此,本研究选择根生物量回归法区分羊草草原土壤呼吸,并深入探讨了根呼吸活力对土壤呼吸与根生物量的相关性、根呼吸以及根呼吸对土壤呼吸的贡献量的影响。

收稿日期: 2013-05-22; 修订日期: 2013-09-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(41071138)

作者简介: 史晶晶(1987~),男,硕士研究生,主要研究方向为环境生物地球化学, E-mail: shijj.10s@igsnr.ac.cn

* 通讯联系人, E-mail: gengyb@igsnr.ac.cn

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

锡林河流域(43°16'~44°39' N, 115°32'~117°12' E)位于内蒙古高原的中部,位于国际地圈-生物圈计划(IGBP)全球变化研究典型中国东北陆地样带(NECT)之内,是内蒙古高原半干旱草原区的主体部分,天然草地总面积达19.67万hm²。在气候区划上,锡林河流域属于中温带亚干旱大区,其气候类型属于大陆性气候中的温带半干旱草原气候,年平均气温为(0.3±0.1)℃,全年光照为2603.8 h,多年平均降水量为(347.0±79.6) mm,降水量年际变化较大^[13]。

实验在内蒙古锡林河流域中国科学院内蒙古草原生态系统定位研究站的羊草99样地内进行,该样地自1999年起进行围栏封育。样地内的建群种为根茎禾草羊草,优势种包括大针茅和冰草等密丛禾草,禾草以外的杂类草大多数是多年生草本。群落的平均高度(7~8月)达到40~50 cm,群落盖度可达40%~50%。牧草在4月中下旬返青,生长期在150~160 d左右^[12]。主要土壤类型为钙积干润均腐土(相当于美国土壤分类系统中的钙积冷凉软土(calciborolls))^[14,15],土壤质地为砂壤质(美国制)^[16],土层深度为100~150 cm,土壤腐殖质层厚达20~30 cm,土壤质地黏粒平均为21%,砂粒为60%^[17]。

1.2 研究方法

1.2.1 实验设置

实验于2012年7月初至9月上旬之间进行,采样频率约为15 d一次(若遇降雨,适当延长1~2 d),共采集样品6次。每次野外实验选取地上生物量较大差异的6个样方(40 cm×50 cm),去除地上植被2 h后,静态箱法采集土壤呼吸CO₂气体。取气结束后,采集植物根样。构建土壤呼吸与根生物量的线性回归方程,将根生物量外推至0时的土壤净呼吸即为土壤微生物呼吸,土壤呼吸与土壤微生物呼吸之差即为根呼吸,从而推算出根呼吸和土壤微生物呼吸占土壤呼吸的比例。

1.2.2 样品采集和分析

CO₂气体的采集:采样时间多选择在上午09:00~11:00之间,研究表明,该时段测定的CO₂通量可以基本代表1 d的平均状况^[18~20]。采集气体样品前,先向底座的沟槽中加入适量水,然后将采样箱扣上,接通风扇(12 V,DC)电源,分别在扣箱后第

0、7、14、21、28 min取气,每次取气约400 mL,所取气体打入密封聚乙烯铝膜气袋(容积500 mL,大连光明化工研究设计院生产)带回定位站供分析。在采样前后分别测定0、5、10、15 cm深处的地温(SN2202型数字测温仪,北京海创高科科技公司生产)。

地上部植物体的采集:用剪刀将地上部植物活体和立枯齐地面剪去,收集凋落物,除去尘土,装于样品袋中带回实验室烘干,测定生物量。

植物根系的采集和区分:采样前,先将土壤表面的残落物和杂质清除干净。用根钻法取样,根钻直径10 cm,按0~10、10~20、20~30和30~40 cm这4个层次依次取根,每层在样方内打4钻。取样完毕先于锡林河中粗洗,再用35目筛子于清水中将活根和死根仔细区分。将洗好的根放在适宜的器皿中,加水轻轻搅动,浮在上面的是死根,活根比重大会沉在下面。洗净后的死根和活根于70℃下烘干至恒重,测定其生物量。

土壤样品的采集:用土钻在每个样方内打3钻,按照0~10、10~20、20~30和30~40 cm这4个层次依次采样。用8号自封袋盛装运回定位站供土壤含水量的测定分析。

CO₂浓度的测定:采用GXH-3010E1便携式智能红外线二氧化碳分析仪,依据气体对红外线具有选择吸收的原理及朗伯-比尔定律对CO₂浓度进行测定,分辨率为1×μmol·mol⁻¹。每个气体样品测3个平行数据,求平均值。校准及质控标准气体浓度为457×μmol·mol⁻¹(北京兆格气体科技有限公司生产,批号:北京111-12604-1),野外实测精密度为0.5(RSD%)。

1.2.3 CO₂通量计算及数据处理

CO₂通量计算公式如下:

$$F = S' \cdot H \cdot M \cdot (P_a/P_s) \cdot (T_s/T_a) / V' \quad (1)$$

式中, F 为通量[mg·(m²·h)⁻¹], S' 为气体浓度对时间做线性回归所得到的斜率, H 为箱体高度(0.3 m), M 为CO₂摩尔质量(44 g·mol⁻¹), P_s 、 T_s 为标准状况的大气压(760 mm汞柱)及温度(273.15 K), P_a 、 T_a 为实际测得的大气压及箱内温度(单位与标准状况相同), V' 为1 mol CO₂气体在标准状况下的体积(22.262 L·mol⁻¹)。

根呼吸的计算:在各采样日,用6个样方测得的土壤呼吸分别减去外推得到的土壤微生物呼吸即为每个样方的根呼吸。各样方根呼吸占土壤呼吸比例的平均值即为采样当日羊草草原根呼吸占土壤呼吸

的比例。

所有统计分析均在 SPSS 17.0 中进行, 利用 SigmaPlot 11.0 作图。

1.2.4 根呼吸活力的计算

单位活根生物量的呼吸速率即为根呼吸活力^[4, 25]。在各采样日, 6 个样方根呼吸的平均值与活根生物量的平均值之商即为采样当日的根呼吸活力。

2 结果与讨论

2.1 降雨量和气温

观测期间降雨量和气温的变化如图 1 所示。2012 年 7 月初至 9 月上旬的观测期内, 羊草 99 样地累计降雨量 249.4 mm, 日平均为 (3.7 ± 1.2) mm, 最大降雨量出现在 7 月 21 日, 为 48.4 mm。7、8 和 9 月上旬的累计降雨量分别为 124.6、80.6 和 44.2 mm。观测期内, 羊草 99 样地平均气温为 (17.4 ± 0.4) °C, 其中 7、8 和 9 月上旬的平均气温分别为 (18.9 ± 0.4) 、 (17.3 ± 0.5) 和 (12.7 ± 1.4) °C。

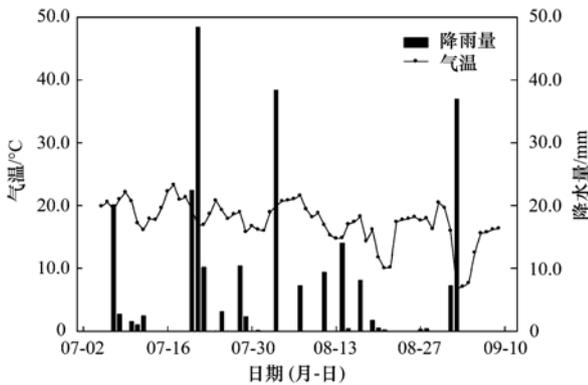


图 1 2012 年观测期间降雨量和气温变化

Fig. 1 Variations of precipitation and air temperature during the observation period of 2012

2.2 土壤含水量和地温

如图 2, 2012 年观测期间, 0~10、10~20、20~30 和 30~40 cm 平均土壤含水量分别为 (143.3 ± 7.6) 、 (122.0 ± 4.9) 、 (108.9 ± 3.8) 和 (100.4 ± 4.0) $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。土壤含水量最大值出现在 8 月 1 日, 0~40 cm 土壤平均含水量为 (150.3 ± 7.7) $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 这与 7 月中下旬累计降雨量达 96.8 mm 有关。地温与土壤含水量的变化趋势基本相反。地表、5、10 和 15 cm 平均地温分别为 (21.3 ± 0.6) 、 (18.2 ± 0.3) 、 (17.4 ± 0.2) 和 (17.1 ± 0.2) °C, 随着土壤深度的增加, 地温逐渐降低。地温的 2 个峰值分别出现在 7 月 18 日和 8 月 30 日, 这与采样前期累计降

雨量较低(7 月上旬和 8 月下旬累计降雨量分别为 28.0 mm 和 11.6 mm), 采样当日气温较高(7 月 18 日和 8 月 30 日气温分别为 21.0°C 和 20.5°C) 有关。

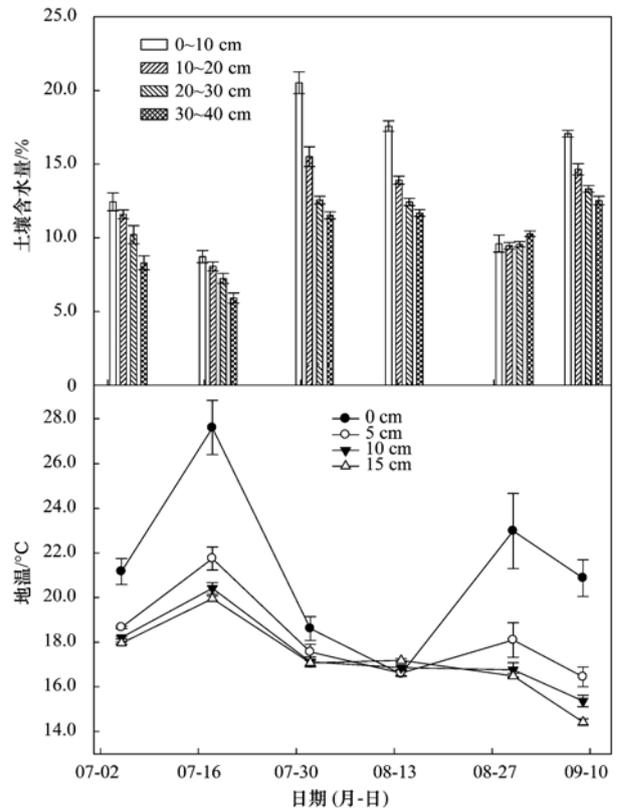


图 2 2012 年观测期间土壤含水量和地温变化

Fig. 2 Variations of soil moisture and soil temperature during the observation period of 2012

2.3 土壤呼吸的区分结果

2012 年观测期间, 随着土壤深度的增加, 0~10、10~20、20~30 和 30~40 cm 活根生物量依次递减。0~20 cm 活根生物量占 0~40 cm 活根总量的 81%~93%, 平均为 $(87 \pm 2)\%$, 羊草草原活根生物量主要集中在 0~20 cm 土层。不同土层活根生物量的时间变异以 0~10 cm 土层最为明显, 变异系数高达 29%, 表层活根生物量的剧烈变化一方面可能是由羊草草原建群种羊草地上部活体生物量的季节变化引起的^[21], 另一方面 0~10 cm 土壤水分含量较高的时间变异(33%)也有可能是引起这种变化的原因。活根生物量具有较高的空间(样方间)差异, 最大空间变异出现在 8 月 14 日(25%)。整个观测期内, 活根生物量 $[(457.17 \pm 41.92) \text{g} \cdot \text{m}^{-2}]$ 显著大于地上部活体生物量 $[(197.58 \pm 31.36) \text{g} \cdot \text{m}^{-2}]$, 羊草草原高达 70% 的生物量主要分配在地下。

土壤呼吸与活根生物量 6 次测定数据的线性回归结果如图 3 所示。可以看出, 两者之间存在较为

明显的正相关关系,线性回归直线的截距即为土壤净呼吸(土壤微生物呼吸),土壤呼吸(F_s)与土壤微生物呼吸(F_m)之差即为根呼吸(F_r)。整个观测期内,羊草草原土壤微生物呼吸的变化范围为 $250.2 \sim 700.2 \text{ mg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$, 平均为 $(423.3 \pm 61.9) \text{ mg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$; 根呼吸的变化范围为 $52.6 \sim 283.4 \text{ mg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$, 平均为 $(139.6 \pm 34.8) \text{ mg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$ 。结合每次 6 个样方测定的土壤呼吸,计算得到的根呼吸占土壤呼吸的比例在 13% ~ 52% 之间,平均为 $(24 \pm 3)\%$; 土壤微生物呼吸占土壤呼吸的比例在 48% ~ 87% 之间,平均为 $(76 \pm 3)\%$ (图 4)。根呼吸对土壤呼吸的贡献量从 7 月初开始逐渐增大,至 8 月 14 日达到峰值 $(53 \pm 2)\%$, 此后开始减小。根生物量回归法的前提假设是土壤微生物呼吸不受根生物量的影响。然而,根生物量不仅对根呼吸和土壤呼吸 CO_2 排放通量起作用,还能通过释放根际分泌物和改变土壤理化性质影响土

壤有机质的分解,这种根生物量引起的根际激发效应产生的 CO_2 可能是土壤微生物原位呼吸的 2 ~ 3 倍多^[22]。因此,土壤微生物呼吸可能会随着根生物量的增加而增加。该方法的前提假设在一定程度上高估了根呼吸 CO_2 通量,从而低估了土壤微生物呼吸对土壤呼吸的贡献量。本研究测算的羊草草原根呼吸占土壤呼吸的比例较北美高草草原、东北碱茅草地和内蒙古荒漠草原偏低,与李凌浩等^[23]在同一研究区域的测算结果十分接近(表 1)。

图 3 中,除 7 月 5 日 ($R^2 = 0.655$), 8 月 14 日 ($R^2 = 0.887$) 和 9 月 9 日 ($R^2 = 0.603$) 外,其余采样日线性回归直线的 R^2 值均较低。除 8 月 14 日 ($P = 0.01$) 外,土壤呼吸与活根生物量的线性相关关系均未达到 0.05 水平上的显著性相关 ($P > 0.05$)。这样的结果表明,除根生物量以外,土壤呼吸还可能受到其他因素比如土壤温度、土壤含水量、微生物种类及数量等的影响,如果这些因素差异较大,土壤呼

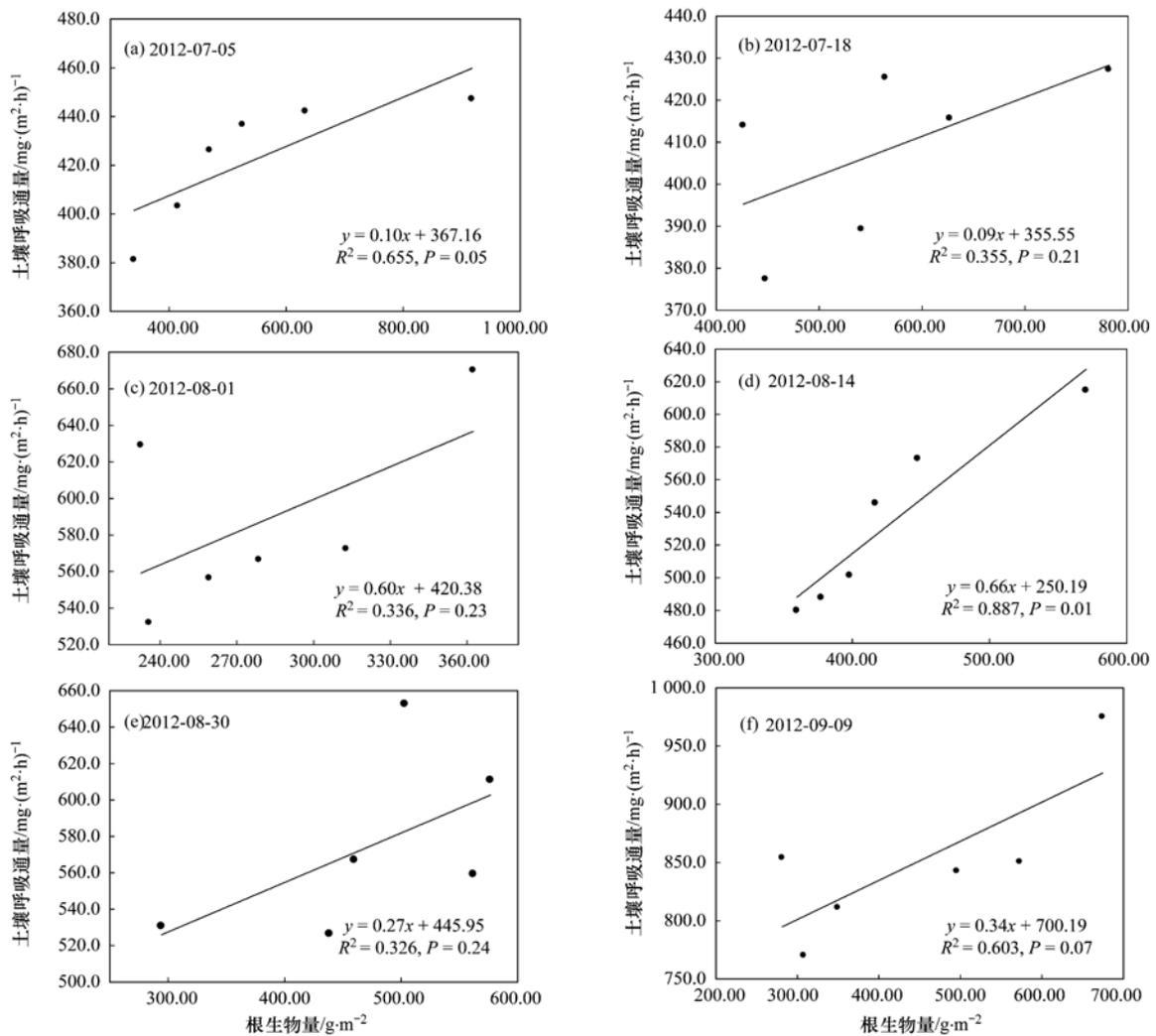


图 3 土壤呼吸与根生物量线性回归关系

Fig. 3 Regression line of soil respiration vs. live roots biomass

吸与根生物量的线性相关性就不稳定. 8月14日与其余各采样日相比, 6个样方之间土壤温度和土壤含水量的差异较小, 且活根生物量达到一个峰值, 根系代谢相对旺盛, 根呼吸达到峰值 (283.4 ± 21.8) $\text{mg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$, 此时活根生物量对土壤呼吸的影响大于其他因素, 因而土壤呼吸与活根生物量具有极显著的线性相关关系. 7月5日和9月9日的活根生物量虽然大于8月14日, 但这两个采样期植物根系的代谢过程相对较弱, 根呼吸与8月14日相比明显偏小, 其他因素对土壤呼吸的影响大于活根生物量的影响, 从而土壤呼吸与活根生物量的相关性弱于8月14日. 由此可见, 活根生物量的多少并不能决定其与土壤呼吸相关性的强弱.

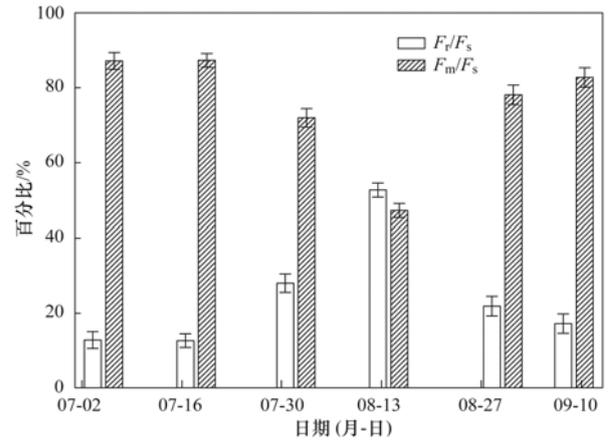


图4 2012年根呼吸和土壤微生物呼吸占土壤呼吸的比例

Fig. 4 Fraction of F_r/F_s and F_m/F_s of 2012

表1 根生物量回归法区分土壤呼吸的研究结果

Table 1 Comparison with other published estimates of F_r/F_s and F_m/F_s using regression method

植被类型	实验地点	F_r/F_s /%	F_m/F_s /%	时间尺度	文献
高草草原	野外	40	60	年	[24]
羊草草原	野外	24	76	月	[23]
羊草草原	野外	36.8	63.2	月	[4]
碱茅草地	野外	24~73	27~76	月	[25]
荒漠草原	野外	45	55	月	[26]
羊草草原	野外	24 ± 6	76 ± 6	月	本研究

2.4 根呼吸活力和根冠比

如图5, 2012年观测期间, 羊草草原根呼吸活力的变化范围在 $0.04 \sim 0.90 \text{ mg} \cdot (\text{g} \cdot \text{h})^{-1}$ 之间, 平均为 $(0.34 \pm 0.10) \text{ mg} \cdot (\text{g} \cdot \text{h})^{-1}$. 根呼吸活力呈单峰型变化, 7月上、中旬最低, 8月中旬达到最大值 [$(0.66 \pm 0.02) \text{ mg} \cdot (\text{g} \cdot \text{h})^{-1}$], 进入秋季, 根呼吸活力缓慢下降. 这与根冠比随时间的变化趋势相反, 两者具有负指数相关关系 ($R^2 = 0.661$, $P = 0.20$), 如图6. 根冠比, 即植物地下部分和地上部分生物量的比值, 能够反映植物光合产物在植物地上和地下

器官中的分配^[27, 28]. 一般来说, 营养供应不足、土壤中水分可用性较低和光照充足的情况下, 根冠比较高^[29]. 观测期内, 羊草草原根冠比的变化范围在 $1.03 \sim 10.72$ 之间, 平均为 2.98 ± 0.77 . 这一结果在马文红等^[30]的研究结果范围之内. 根冠比在7月初达到峰值 6.42 ± 1.12 , 此时地上部活体生物量较小 [$(88.29 \pm 4.74) \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$], 活根生物量较大 [$(550.21 \pm 83.91) \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$], 此后地上部活体生物量迅速增加, 活根生物量有一定程度的减小, 因而根冠比逐渐减

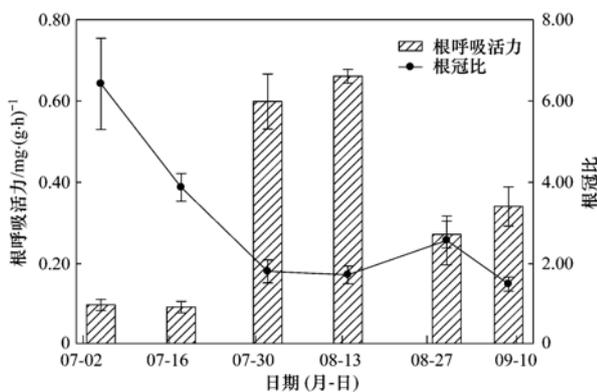


图5 2012年观测期间根呼吸活力和根冠比变化

Fig. 5 Dynamics of root respiration vitality and the ratio of root to shoot during the observation period of 2012

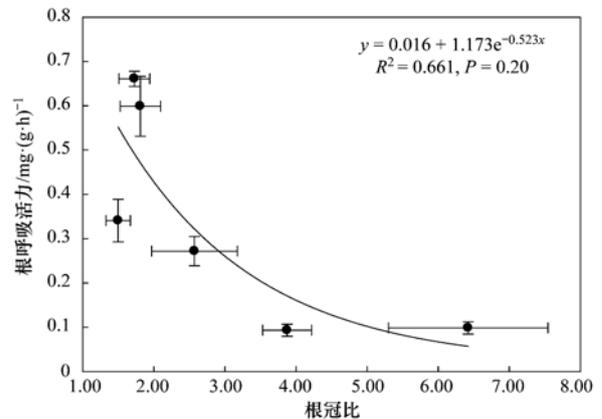


图6 2012年观测期间根呼吸活力和根冠比的相关关系

Fig. 6 Correlation between root respiration vitality and the ratio of root to shoot biomass during the observation period of 2012

小,但从7月底开始根冠比维持在2.00左右,变化幅度较小.在活根生物量较高的7月上、中旬和9月中旬,根呼吸活力普遍较低,这也解释了为何7月5日和9月9日较高的活根生物量对土壤呼吸的影响却相对减弱,从而土壤呼吸与活根生物量的相关性弱于8月14日.8月14日与7月上、中旬和9月中旬的采样日相比,尽管活根生物量相对较少,但此时根呼吸活力达到峰值,根系生长和代谢活动旺盛,活根生物量对土壤呼吸的影响大于其他因素,因而土壤呼吸与活根生物量具有极显著的线性相关关系.需要指出

的是,虽然8月1日的根呼吸活力仅次于8月14日,但8月1日的活根生物量是整个观测期内的最小值 $[(280.20 \pm 20.43) \text{g} \cdot \text{m}^{-2}]$,削弱了活根生物量对土壤呼吸的绝对影响,土壤呼吸与活根生物量的相关性不显著($R^2 = 0.336, P = 0.23$).羊草草原植物根呼吸活力与0~10、10~20、20~30和30~40 cm土壤含水量均有极显著的正指数相关关系(图7, $P < 0.0001$).随着土壤含水量的增加,根呼吸活力增加,表明良好的土壤水分条件有利于根呼吸活力.土壤含水量能解释根呼吸活力40%~60%左右的变化.

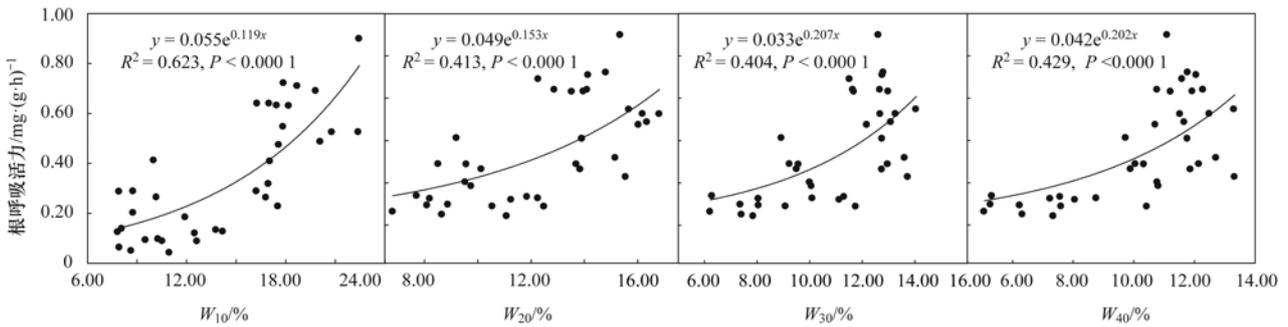


图7 根呼吸活力与土壤含水量的相关关系

Fig. 7 Correlation between root respiration vitality and soil water content

观测期内,羊草草原根呼吸活力与根呼吸以及根呼吸对土壤呼吸的贡献量随时间的变化规律基本一致.如图8,根呼吸与根呼吸活力之间具有极显著的指数相关关系($R^2 = 0.848, P = 0.01$),根呼吸对土壤呼吸的贡献量与根呼吸活力之间具有显著的指数相关关系($R^2 = 0.818, P = 0.01$).由指数模拟结果可以看出,随着根呼吸活力的增加,根呼吸释放的 CO_2 和根呼吸对土壤呼吸的贡献量也随之增加,根呼吸活力可以解释根呼吸以及根呼吸对土壤呼吸的贡献量80%以上的变化.这说明,在观测期内,根呼吸活力在很大程度上影响着根呼吸以及根呼吸对土壤呼吸的贡献量.

3 结论

(1)根生物量回归法结果表明,除根生物量以外,土壤呼吸还可能受到其他因素比如土壤温度、土壤含水量、微生物种类及数量等的影响,因此羊草草原土壤呼吸与活根生物量的线性相关性不稳定.

(2)羊草草原根呼吸占土壤呼吸的比例在13%~52%之间,平均为 $(24 \pm 3)\%$;土壤微生物呼吸占土壤呼吸的比例在48%~87%之间,平均为 $(76 \pm 3)\%$.

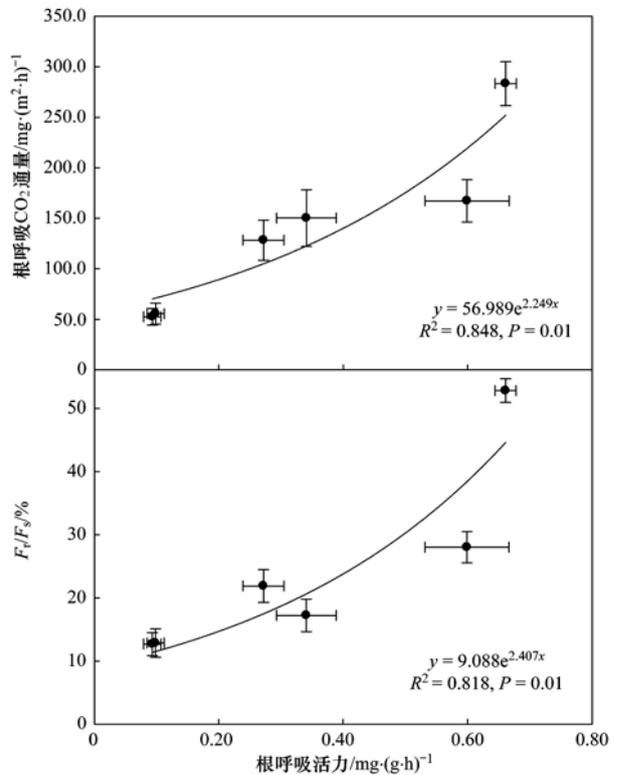


图8 根呼吸和根呼吸占土壤呼吸的比例与根呼吸活力的相关关系

Fig. 8 Correlation between root respiration or the ratio of F_r/F_s and root respiration vitality

(3) 羊草草原根呼吸活力与根冠比具有负指数相关关系 ($R^2 = 0.661, P = 0.20$), 与 0 ~ 10、10 ~ 20、20 ~ 30 和 30 ~ 40 cm 土壤含水量均有极显著的正指数相关关系 ($P < 0.0001$).

(4) 羊草草原根呼吸与根呼吸活力之间具有极显著的指数相关关系 ($R^2 = 0.848, P = 0.01$), 根呼吸对土壤呼吸的贡献量与根呼吸活力之间具有显著的指数相关关系 ($R^2 = 0.818, P = 0.01$). 根呼吸活力在很大程度上影响着根呼吸以及根呼吸对土壤呼吸的贡献量.

致谢: 中国科学院内蒙古草原生态系统定位研究站白永飞站长和中国科学院植物研究所王智平研究员给予本研究大力支持和帮助, 中国科学院内蒙古草原生态系统定位研究站提供实验样地和部分气象数据, 在此一并感谢.

参考文献:

- [1] Höglberg P, Read D J. Towards a more plant physiological perspective on soil ecology [J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 2006, **21**(10): 548-554.
- [2] Schlesinger W H, Andrews J A. Soil respiration and the global carbon cycle [J]. *Biogeochemistry*, 2000, **48**(1): 7-20.
- [3] Rustad L E, Huntington T G, Boone R D. Controls on soil respiration: implications for climate change [J]. *Biogeochemistry*, 2000, **48**(1): 1-6.
- [4] Jia B R, Zhou G S, Wang F Y, *et al.* Partitioning root and microbial contributions to soil respiration in *Leymus chinensis* populations [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, **38**(4): 653-660.
- [5] 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.
- [6] Cheng W X. Measurement of rhizosphere respiration and organic matter decomposition using natural ^{13}C [J]. *Plant and Soil*, 1996, **183**(2): 263-268.
- [7] Boone R D, Nadelhoffer K J, Canary J D, *et al.* Roots exert a strong influence on the temperature sensitivity of soil respiration [J]. *Nature*, 1998, **396**(6711): 570-572.
- [8] White R P, Murray S, Rohweder M. Pilot analysis of global ecosystems: grassland ecosystems [M]. Washington, DC: World Resources Institute, 2000. 1-2.
- [9] Conant R T, Paustian K, Elliott E T. Grassland management and conversion into grassland: effects on soil carbon [J]. *Ecological Applications*, 2001, **11**(2): 343-355.
- [10] Hunt J E, Kelliher F M, McSeveny T M, *et al.* Long-term carbon exchange in a sparse, seasonally dry tussock grassland [J]. *Global Change Biology*, 2004, **10**(10): 1785-1800.
- [11] Wohlfahrt G, Anfang C, Bahn M, *et al.* Quantifying nighttime ecosystem respiration of a meadow using eddy covariance, chambers and modelling [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2005, **128**(3-4): 141-162.
- [12] 李博, 雍世鹏, 李忠厚. 锡林河流域植被及其利用[A]. 见: 中国科学院内蒙古草原生态定位站. 草原生态系统研究(第3集)[C]. 北京: 科学出版社, 1988. 84-183.
- [13] 陈佐忠. 锡林河流域地形与气候概况[A]. 见: 中国科学院内蒙古草原生态定位站. 草原生态系统研究(第3集)[C]. 北京: 科学出版社, 1988. 13-22.
- [14] 龚子同. 中国土壤系统分类: 理论·方法·实践[M]. 北京: 科学出版社, 1999. 1-903.
- [15] 汪久文, 蔡蔚祺. 锡林河流域土壤的发生类型及其性质的研究[A]. 见: 中国科学院内蒙古草原生态定位站. 草原生态系统研究(第3集)[C]. 北京: 科学出版社, 1988. 23-83.
- [16] 耿元波, 章申, 董云社, 等. 草原土壤的碳氮含量及其与温室气体通量的相关性[J]. *地理学报*, 2001, **56**(1): 44-53.
- [17] 罗光强, 耿元波. 羊草草原和贝加尔针茅草原生态系统呼吸的差异分析[J]. *环境科学*, 2010, **31**(11): 2732-2739.
- [18] 杜睿, 王庚辰, 吕达仁, 等. 箱法在草地温室气体通量野外实验观测中的应用研究[J]. *大气科学*, 2001, **25**(1): 61-70.
- [19] Kessavalou A, Mosier A R, Doran J W, *et al.* Fluxes of carbon dioxide, nitrous oxide, and methane in grass sod and winter wheat-fallow tillage management [J]. *Journal of Environmental Quality*, 1998, **27**(5): 1094-1104.
- [20] Mosier A R, Delgado J A. Methane and nitrous oxide fluxes in grasslands in western Puerto Rico [J]. *Chemosphere*, 1997, **35**(9): 2059-2082.
- [21] 白永飞, 许志信, 李德新. 羊草草原群落生物量季节动态研究[J]. *中国草地*, 1994, (3): 1-5.
- [22] Kuzyakov Y. Sources of CO_2 efflux from soil and review of partitioning methods [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2006, **38**(3): 425-448.
- [23] 李凌浩, 韩兴国, 王其兵, 等. 锡林河流域一个放牧草原群落中根系呼吸占土壤总呼吸比例的初步估计[J]. *植物生态学报*, 2002, **26**(1): 29-32.
- [24] Kucera C, Kirkham D R. Soil respiration studies in tallgrass prairie in Missouri [J]. *Ecology*, 1971, **52**(5): 912-915.
- [25] 王妮, 郭继勋. 松嫩草甸草地碱茅群落根呼吸对土壤呼吸的贡献[J]. *科学通报*, 2006, **51**(5): 559-564.
- [26] Bao F, Zhou G S, Wang F Y, *et al.* Partitioning soil respiration in a temperate desert steppe in Inner Mongolia using exponential regression method [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2010, **42**(12): 2339-2341.
- [27] 耿浩林, 王玉辉, 王凤玉, 等. 恢复状态下羊草 (*Leymus chinensis*) 草原植被根冠比动态及影响因子[J]. *生态学报*, 2008, **28**(10): 4629-4634.
- [28] 王妮, 彭书时, 方精云. 中国北方天然草地的生物量分配及其对气候的响应[J]. *干旱区研究*, 2008, **25**(1): 90-97.
- [29] Luo Y Q, Zhou X H. Soil respiration and the environment [M]. San Diego: Academic Press, 2006. 187-212.
- [30] 马文红, 方精云. 内蒙古温带草原的根冠比及其影响因素[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2006, **42**(6): 774-778.

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