

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第7期

Vol.34 No.7

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版



目次

唐山市大气颗粒物 OC/EC 浓度谱分布观测研究	郭育红, 辛金元, 王跃思, 温天雪, 李杏茹, 封孝信 (2497)
北京东灵山地区主要大气污染物浓度变化特征	于阳春, 胡波, 王跃思 (2505)
奥运前期与奥运期间北京市大气细颗粒物特征比较分析	张菊, 欧阳志云, 苗鸿, 王效科, 任玉芬, 宋文质 (2512)
华东森林及高山背景区域臭氧变化特征及影响因素	苏彬彬 (2519)
北京市居家空气微生物粒径及分布特征研究	方治国, 孙平, 欧阳志云, 刘芄, 孙力, 王小勇 (2526)
民用燃煤源中多环芳烃排放因子实测及其影响因素研究	海婷婷, 陈颖军, 王艳, 田崇国, 林田 (2533)
醇类汽油车醇醛酮、芳香烃和烯烃类排放的试验研究	张凡, 王建海, 王小臣, 王建昕 (2539)
微波解吸-催化燃烧净化甲苯研究	曹晓强, 张浩, 黄学敏 (2546)
生物滴滤池对 BTEX 的去除及相应细菌群落分析	李建军, 廖东奇, 许玫英, 孙国萍 (2552)
炼油厂废水处理站挥发性羰基化合物成分谱研究	周博宇, 刘旺, 王伯光, 周咪, 黄青, 周磊 (2560)
春季东、黄海溶解甲烷的分布和海气交换通量	曹兴朋, 张桂玲, 马啸, 张国玲, 刘素美 (2565)
千岛湖湖泊区水体季节性分层特征研究	董春颖, 虞左明, 吴志旭, 吴春金 (2574)
新安江流域土地利用结构对水质的影响	曹芳芳, 李雪, 王东, 赵越, 王玉秋 (2582)
长江中下游草型湖泊浮游植物群落及其与环境因子的典范对应分析	孟睿, 何连生, 过龙根, 席北斗, 李中强, 舒俭民, 刁晓君, 李必才 (2588)
河口盐度梯度下溶解态核酸的微生物可利用性	杨青青, 李朋辉, 黄清辉 (2597)
水藻暴发的影响因素定量化研究初步	张卓, 宋志尧, 黄昌春, 俞肇元 (2603)
深水型水库藻类功能组时空演替及生境变化的影响	卢金锁, 胡亚潘 (2611)
结合水体光学分类反演太湖总悬浮物浓度	周晓宇, 孙德勇, 李云梅, 李俊生, 龚绍琦 (2618)
Subwet 模型在人工湿地设计中的应用	李慧峰, 黄津辉, 林超 (2628)
白洋淀荷茎叶提取液对铜绿微囊藻及四尾栅藻化感效应	何连生, 孟繁丽, 刁晓君, 李一葳, 孟睿, 席北斗, 舒俭民 (2637)
苦草 (<i>Vallisneria spiralis</i>) 对城市缓流河道黑臭底泥理化性质的影响	许宽, 刘波, 王国祥, 马久远, 曹勋, 周峰 (2642)
铁屑-微生物协同还原去除水体中 Cr(VI) 研究	汤洁, 王卓行, 徐新华 (2650)
铁铜催化剂非均相 Fenton 降解苯酚及机制研究	杨岳主, 李玉平, 杨道武, 段锋, 曹宏斌 (2658)
不同形态无机氮对水中微量药物安替比林光降解效能影响	赵倩, 陈超, 封莉, 张立秋 (2665)
邻苯二甲酸二甲酯的紫外光-H ₂ O ₂ 降解机制研究	刘青, 陈成, 陈泓哲, 杨绍贵, 何欢, 孙成 (2670)
二胺基改性有序多孔 SBA-15 对溶液中 Cd ²⁺ 离子的吸附研究	张萌, 杨亚提, 秦睿, 王力, 张增强, 李忠宏, 李荣华, 孟昭福 (2677)
酸化蛭石的表面有机修饰及其对疏水性微污染物的吸附	蒋争明, 于旭彪, 胡芸, 任源, 李雪辉, 韦朝海 (2686)
基于废陶瓷的多孔陶瓷研制及其对 Ni ²⁺ 的吸附性能	张永利, 王承智, 史册, 尚玲玲, 马瑞, 董婉莉 (2694)
树皮支持的厌氧生物法去除地下水中的高氯酸盐	王蕊, 刘菲, 陈楠, 陈鸿汉 (2704)
Cr(VI) 污染地下水修复的 PRB 填料实验研究	朱文会, 董良飞, 王兴润, 翟亚丽 (2711)
化学沉淀法去除稀土湿法冶炼废水中钙与高浓度氨氮研究	王浩, 成官文, 宋晓薇, 徐子涵, 蒙金结, 董传强 (2718)
镍铁尾矿硫酸浸出动力学研究	陈安安, 周少奇, 黄鹏飞 (2729)
HRT 对 A ² O 工艺中典型多环麝香迁移转化的影响	刘鹏程, 黄满红, 陈东辉, 陈亮 (2735)
发酵液作为 EBPR 碳源的动力学模拟	张超, 陈银广 (2741)
强化污泥利用水解反应器改善碳源与污泥减量作用研究	熊娅, 王强, 宋英豪, 朱民, 林秀军 (2748)
污泥胞外聚合物的提取方法及其对污泥脱水性能的影响	周俊, 周立祥, 黄焕忠 (2752)
不同粒径铁铝泥对砷(Ⅲ)的吸附效果	林璐, 胥嘉瑞, 吴昊, 王昌辉, 裴元生 (2758)
我国畜禽粪便污染的区域差异与发展趋势分析	仇焕广, 廖绍攀, 井月, 栾江 (2766)
浙北平原富硒土壤资源区硒来源的定量分离	徐明星, 潘卫丰, 岑静, 马学文 (2775)
三江平原土地利用方式变化对土壤锰形态影响	张仲胜, 吕宪国, 宋晓林 (2782)
吉林前郭水田土壤有机碳垂直分布规律和储量研究	汤洁, 张雯辉, 李昭阳, 张楠, 胡猛 (2788)
关中地区农田土壤有机碳固存速率及影响因素: 以陕西武功县为例	张晓伟, 许明祥 (2793)
三峡库区不同林草措施土壤活性有机碳及抗蚀性研究	黄茹, 黄林, 何丙辉, 周立江, 于传, 王峰 (2800)
土壤自养微生物同化碳向土壤有机碳库输入的定量研究: ¹⁴ C 连续标记法	史然, 陈晓娟, 吴小红, 简燕, 袁红朝, 葛体达, 隋方功, 童成立, 吴金水 (2809)
西南丘陵区保护性耕作下小麦农田土壤呼吸及影响因素分析	张赛, 张晓雨, 王龙昌, 罗海秀, 周航飞, 马仲炼, 张翠微 (2815)
丹江口水库迁建区土壤有机氯农药的分布特征及风险评价	李子成, 秦延文, 郑丙辉, 张雷, 赵艳民, 时瑶 (2821)
农药企业场地苯系物污染风险及调控对策	庞博, 王铁宇, 杜立宇, 谭冰, 朱朝云, 吕永龙 (2829)
水分管理对硫铁镉在水稻根区变化规律及其在水稻中积累的影响	张雪霞, 张晓霞, 郑煜基, 王荣萍, 陈能场, 卢普相 (2837)
硝酸盐对沉积物中有机物氧化减量及微生物群落结构的影响	刘近, 邓代永, 孙国萍, 刘永定, 许玫英 (2847)
零价铁对脱色希瓦氏菌 S12 偶氮还原的促进作用	周庆, 陈杏娟, 郭俊, 孙国萍, 许玫英 (2855)
2 株好氧反硝化菌的筛选及其强化贫营养生物膜脱氮效果	全向春, 岑艳, 钱殷 (2862)
反硝化聚磷菌快速富集、培养及其荧光原位杂交技术鉴别	刘立, 汤兵, 黄绍松, 付丰连, 张启泰, 黎健彬, 罗建中 (2869)
1 株反硝化除磷菌的鉴定及其反硝化功能基因研究	张倩, 王弘宇, 桑穗姣, 李孟, 杨开, 马放 (2876)
1 株高效 BBP 降解菌的分离与特性研究	陈湖星, 杨雪, 张凯, 钟秋, 郭佳, 王攀, 熊丽, 刘德立 (2882)
微生物-化学水解联合作用下烟嘧磺隆的降解	张小林, 李咏梅, 袁志文 (2889)
扑草净降解菌的分离、筛选与鉴定及降解特性初步研究	周际海, 孙向武, 胡锋, 李辉信 (2894)
固定化 <i>Lysinibacillus cresolovorans</i> 的 PVA-SA-PHB-AC 复合载体制备及间甲酚的降解	李婷, 任源, 韦朝海 (2899)
生物破乳菌 <i>Alcaligenes</i> sp. S-XJ-1 表面活性物质提取与其破乳特性分析	黄翔峰, 张树聪, 彭开彰, 陆丽君, 刘佳 (2906)
A ² O 工艺活性污泥中可培养丝状细菌的多样性	高莎, 金德才, 赵志瑞, 齐嵘, 彭霞薇, 白志辉 (2912)
生活垃圾堆肥渗滤液污染物组成与演化规律研究	李丹, 何小松, 席北斗, 魏自民, 潘红卫, 赵国鹏, 崔东宇 (2918)
专辑征稿通知 (2551) 《环境科学》征稿简则 (2685) 《环境科学》征订启事 (2868) 信息 (2875)	

西南丘陵区保护性耕作下小麦农田土壤呼吸及影响因素分析

张赛, 张晓雨, 王龙昌*, 罗海秀, 周航飞, 马仲炼, 张翠微

(西南大学农学与生物科技学院, 南方山地农业教育部工程研究中心, 重庆 400716)

摘要: 为了探讨保护性耕作对旱作农田土壤呼吸的影响, 采用 LI6400-09 呼吸室在重庆北碚西南大学试验农场对平作(T)、垄作(R)、平作+覆盖(TS)、垄作+覆盖(RS)这4种处理下的西南紫色土丘陵区小麦/玉米/大豆套作体系中小麦作物生长季节的土壤呼吸及其水热生物因子进行了测定和分析。结果表明, 小麦生殖生长阶段农田土壤呼吸速率变化范围为 $1.100 \sim 2.508 \mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$, 各处理的土壤呼吸速率差异显著, 表现为 $\text{RS} > \text{R} > \text{TS} > \text{T}$ 。各处理 10 cm 土层的土壤温度表现为 $\text{T} > \text{R} > \text{TS} > \text{RS}$ 。土壤呼吸与土壤温度的关系符合指数函数, Q_{10} 值分别为 1.25、1.20、1.31 和 1.26。5 cm 土层的土壤含水量高低排序为 $\text{TS} > \text{RS} > \text{T} > \text{R}$ 。土壤水分与土壤呼吸以抛物线曲线拟合最好, 说明存在土壤呼吸最强的土壤含水量点, 本研究得出小麦生殖生长阶段在土壤含水量的响应阈值为 14.80% ~ 17.47%。土壤动物中优势类群为弹尾目和螨目, 与土壤呼吸存在一定相关性, 对照处理和垄作下相关性高, 而秸秆覆盖的处理土壤呼吸与土壤动物没有明显的相关性。

关键词: 西南丘陵区; 小麦农田; 土壤呼吸; 土壤温度; 土壤湿度; 土壤动物

中图分类号: X144 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)07-2815-06

Analysis of Soil Respiration and Influence Factors in Wheat Farmland Under Conservation Tillage in Southwest Hilly Region

ZHANG Sai, ZHANG Xiao-yu, WANG Long-chang, LUO Hai-xiu, ZHOU Hang-fei, MA Zhong-lian, ZHANG Cui-wei

(Engineering Research Center of South Upland Agriculture, Ministry of Education, College of Agronomy and Biotechnology, Southwest University, Chongqing 400716, China)

Abstract: In order to investigate the effect of conservation tillage on soil respiration in dry cropping farmland in southwest purple hilly region, the LI6400-09 respiratory chamber was adopted in the experiment conducted in the experimental field in Southwest University in Beibei, Chongqing. The respiration and the hydrothermal and biotic factors of soil were measured and analyzed during the growth period of wheat in the triple intercropping system of wheat/maize/soybean. There were four treatments including T (traditional tillage), R (ridge tillage), TS (traditional tillage + straw mulching) and RS (ridge tillage + straw mulching), which were all in triplicates. The results indicated that the soil respiration rate changed in the range of $1.100 \sim 2.508 \mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$ during the reproductive growth stage of wheat. There were significant differences in soil respiration rate among different treatments, which could be ranked as $\text{RS} > \text{R} > \text{TS} > \text{T}$. The soil temperature in the 10cm layer was ranked as $\text{T} > \text{R} > \text{TS} > \text{RS}$. The relationship between soil respiration and soil temperature fitted well with an exponential function, in which the Q_{10} values were 1.25, 1.20, 1.31 and 1.26, respectively. The soil moisture in the 5cm layer was ranked as $\text{TS} > \text{RS} > \text{T} > \text{R}$. The best fitting model between soil moisture and soil respiration was a parabolic curve, indicating the presence of soil moisture with the strongest soil respiration. The response threshold of wheat to soil moisture was 14.80% - 17.47% during the reproductive stage. The dominant groups of soil animals were Collembola and Acarina, which were correlated with soil respiration to some extent. The correlation was high in the treatments T and R, ranged from 0.669-0.921, whereas there was no remarkable correlation in the other treatments.

Key words: southwest hilly area; wheat farmland; soil respiration; soil temperature; soil moisture; soil animal

土壤呼吸是土壤向大气释放二氧化碳的过程, 是陆地生态系统将碳素以二氧化碳形式归还给大气的主要途径, 是土壤有机碳输出的主要形式, 是土壤与大气气体交换的主要环节, 占陆地生态系统与大气之间碳交换量的三分之二^[1]。土壤呼吸的影响因素复杂多样, 许多学者对土壤呼吸的水热影响因子进行了观测和模拟^[2], 已经有了广泛的认识。Li等^[3]指出, 严格意义上的土壤呼吸是指受扰动的土

壤产生二氧化碳的所有代谢作用, 包括3个生物学过程(植物根系呼吸、土壤微生物呼吸及土壤有机质分解和土壤动物呼吸)和一个非生物学过程(含

收稿日期: 2012-10-24; 修订日期: 2012-12-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(31271673); 国家自然科学基金项目(30871474); 重庆市科技攻关项目(CSTC, 2008AB1001)

作者简介: 张赛(1987~), 女, 博士研究生, 主要研究方向为生态农业与可持续发展。E-mail: 532875132@qq.com

* 通讯联系人, E-mail: wanglc2003@163.com

碳物质的化学氧化作用). 一般认为在土壤呼吸中以植物根系呼吸和土壤微生物呼吸为主, 另外两种代谢作用对土壤呼吸的影响较少, 但是最近有学者却呼吁土壤动物呼吸不可忽略, 尤其在农田生态系统中, 无脊椎动物等往往起着决定性作用. 目前我国有关农田生态系统土壤动物的研究主要集中在土壤动物分类和群落分布特征上^[4]. 在全球变化日益严峻的形势下, 土壤动物与环境的关联研究显得越来越重要^[5]. 国内外陆续开展了土壤动物与全球变化之间的关系^[6~9], 涉及土壤动物对土壤污染和土地利用方式的响应研究^[10~13]、物种入侵、土壤干扰等多方面^[14,15]. 其中土壤动物与温室气体排放结合研究较为薄弱^[16]. 保护性耕作措施作为当今推广应用的一项重要农业管理措施, 具有减少土壤侵蚀、提高土壤有机质、节水保墒和提高产量的优点, 但是对温室气体的排放研究影响机制仍处于起步阶段^[17]. 基于此, 开展本研究, 旨在通过分析保护性耕作下小麦农田土壤呼吸的影响因素, 从土壤温度、土壤湿度和农田土壤动物这 3 个角度, 探讨保护性耕作下农田生态系统的土壤呼吸特征, 以期减缓全球变暖提供一定的理论依据.

1 材料与方法

1.1 研究地概况

试验地位于重庆市北碚区西南大学教学试验农场, 29°51'N, 106°27'E, 海拔 244 m, 属亚热带季风湿润气候, 年均太阳总辐射量 87 108 kJ·cm⁻², 年均日照时数 1 276.7 h, 多年平均气温 18℃, ≥10℃ 积温 5 979.5℃, 夏季最高气温达 40℃ 左右, 无霜期达 359 d, 多年平均降雨量 1 133.7 mm, 春、夏、秋、冬降雨量分别为全年的 25.5%、41.4%、27.9%、5.5%, 年蒸发量 1 181.1 mm, 伏旱发生频率达 93%. 试验地土壤为旱地紫色土, 坡度较缓, 地力相对均匀. 土壤容重 1.21 g·cm⁻³, pH 为 6.47, 土壤有机质 28.00 g·kg⁻¹, 全氮 1.68 g·kg⁻¹, 全磷 1.46 g·kg⁻¹, 全钾 34.54 g·kg⁻¹, 速效磷 18.13 mg·kg⁻¹, 速效钾 270.23 mg·kg⁻¹, 碱解氮 35.23 mg·kg⁻¹.

试验于 2012 年 3~5 月在西南大学教学试验农场进行, 采用“小麦/玉米/大豆”三熟复种轮作模式, 试验地已连续 6 a 开展旱三熟种植模式下的保护性耕作研究, 每年的耕作处理保持一致. 共设 4 个处理, 3 次重复: 平作 (T/CK), 整个试验期采用平作; 垄作 (R), 垄高约 20 cm; 平作 + 秸秆覆盖 (TS), 整个试验期采用秸秆覆盖, 收获的秸秆全量

就地覆盖; 垄作 + 秸秆覆盖 (RS), 整个试验期起垄后覆盖秸秆, 垄高约 20 cm. 试验采用随机区组排列, 每个小区的面积为 8 × 3.60 m². 每个小区均分四厢, 每厢宽度为 1 m, 长度为 3.6 m. 供试作物为小麦 (糯小麦品系、播种量 90 kg·hm⁻²), 玉米 (西单一号、移栽密度 88 933 株·hm⁻²) 和大豆 (渝豆一号、播种量 130 kg·hm⁻²). 小麦各处理均施过磷酸钙 390 kg·hm⁻²、尿素 152 kg·hm⁻², 作为基肥在播种的同时施入. 覆盖处理所用的玉米及小麦秸秆, 收获后均匀覆盖于小区内, 每小区覆盖秸秆 42.7 kg (折合 24 000 kg·hm⁻²).

1.2 指标测定方法

1.2.1 土壤呼吸测定

测定仪器为 LI6400 便携式光合作用系统连接 6400-09 呼吸室, 在测定区域按照行间、株间和条带边缘这 3 个不同位置选取 3 个固定点, 间距约为 1 m, 每个点放自制的 PVC 环, 于测定前一天安置好, 以减少对土壤的干扰. 每个 PVC 环测定 1 次, 3 个循环, 每个处理 3 次重复, 共 9 个数据, 取其平均值作为日土壤呼吸值. 从小麦抽穗期到收获期每半个月测定一次, 测定时间统一为上午 09:00 ~ 11:00.

1.2.2 土壤水热因子测定

土壤温度用 LI6400-09 自带的土壤温度探针测定, 深度为 10 cm. 土壤水分采用烘干法, 在测定土壤呼吸的同时在 PVC 环附近采集 0~5 cm 深度的土样, 3 次重复.

1.2.3 土壤动物测定

土壤动物取样方法是从小麦抽穗期到收获期, 每半个月在每个区按照五点法取土样带回实验室, 采用“干漏斗法” (tullgren apparatus) 进行分离. 土壤动物分类采用文献 [18], 鉴定到目, 同时统计个体数量. 个体数占捕获数总数 10% 以上的为优势类群, 1%~10% 为常见类群, 不足 1% 为稀有类群. 分别从多样性指数、均匀度指数、优势度指数、丰富度指数和相似度指数进行比较分析^[19].

多样性指数 (Shannon-Wiener):

$$H = - \sum (P_i \ln P_i)$$

均匀度指数 (Pielou): $E = H / \ln S$

优势度指数 (Simpson): $C = \sum (P_i)^2$

丰富度指数 (Menhinick): $D = \ln S / \ln N$

其中, $P_i = n_i / N$, 式中, n_i 为第 i 个类群的个体数; N 为群落中所有类群的个体总数; S 为类群数.

1.3 数据处理

所有数据处理在 SPSS 13.0 和 Excel 2003 表格中完成统计分析和制图。

2 结果与分析

2.1 土壤呼吸动态变化

小麦进入生殖生长阶段后,土壤呼吸速率变化范围为 $1.100 \sim 2.508 \mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$,最小值出现在灌浆期,最大值出现在扬花期(见图1)。不同生育期各处理的土壤呼吸速率差异达到极显著水平,大小排序为 $\text{RS} > \text{R} > \text{TS} > \text{T}$ 。垄作较平作提高了土壤呼吸作用的 21.23% ~ 48.27%,秸秆覆盖影响略小,增减幅度为 -12.45% ~ 23.02%。一般来说秸秆覆盖下的土壤生物活动频繁,会增加土壤呼吸作用,但是本研究中小麦灌浆期 TS 低于 T,究其原因

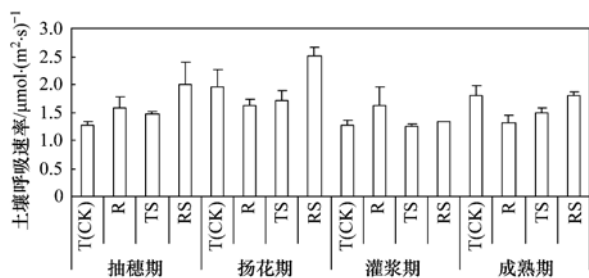


图1 土壤呼吸速率动态

Fig. 1 Dynamic changes in soil respiration

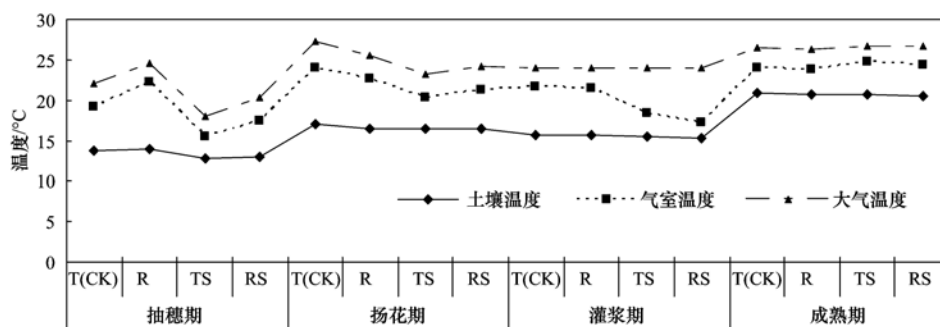


图2 土壤温度、采样箱温度及大气温度动态变化

Fig. 2 Dynamic changes in soil temperature, sampling chamber temperature and the air temperature

2.3 土壤含水量与土壤呼吸的关系

在土壤含水量动态变化中,不同时期秸秆覆盖下的土壤含水量均较高,具体表现为 $\text{TS} > \text{RS} > \text{T} > \text{R}$,进一步证明秸秆覆盖具有保墒作用,而垄作降低了土壤表层含水量(见图3)。土壤含水量与土壤呼吸的关系较为复杂,目前还没有统一的定论。但是有相关的研究表明,当土壤湿度低于田间持水量的 40% 或者高于 80% 时,土壤呼吸将下降^[22]。因此根

可能是由于秸秆是去年小麦、玉米收获后覆盖的,已到分解后期,对土壤呼吸的影响减弱。

2.2 土壤温度与土壤呼吸的关系

土壤呼吸测定同时记录了大气温度、气室温度和土壤温度(见图2)。秸秆覆盖下的土壤温度较低,各处理表现为 $\text{T} > \text{R} > \text{TS} > \text{RS}$ 。以往的研究表明,土壤温度与土壤呼吸的关系常采用 Q_{10} 值表示,即温度每增加 10°C 土壤呼吸增加的倍数,是呼吸速率对温度变化的敏感性指标,通常为 $1.3 \sim 5.6$ ^[20]。计算公式^[21]为:

$$Y = a \times e^{bx}, Q_{10} = e^{10b}$$

式中, Y 为土壤呼吸速率,单位为 $\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$,即每平方米土壤每天排放的二氧化碳含碳量, x 为土壤温度($^\circ\text{C}$), a 和 b 为模拟计算值。由于小麦生殖生长阶段土壤温度变化波动较小,土壤呼吸速率变幅不大,土壤呼吸速率与土壤温度没有表现出明显的指数函数关系,但是从 2012 年 3 月 ~ 10 月观测的数据结果分析看,土壤呼吸速率与土壤温度关系符合指数函数规律,方程式为 $Y = 0.311e^{0.095x}$, $R^2 = 0.465$, $P = 0.000$ (未公开发表)。虽然本研究观测期未能反映该规律,仍可以采用指数函数来计算分析。结果显示 4 个处理(T、R、TS、RS)的 Q_{10} 值分别为 1.25、1.20、1.31、1.26,表明秸秆覆盖处理提高了土壤呼吸的土温敏感性,垄作处理则降低土壤呼吸的土温敏感性。

据抛物线型函数的数学意义,对土壤呼吸和土壤水分进行了二次函数模拟,通过计算土壤呼吸的土壤水分响应阈值为 14.80% ~ 17.47%,其中秸秆覆盖下的响应阈值较低。

2.4 土壤动物与土壤呼吸的关系

在 4 次取样中,采用干漏斗法分离得到的土壤动物总共 3 893 个,种类 20 种。其中弹尾目和螨目为优势类群,线蚓科、膜翅目、蜈蚣目、双尾目是常见

类群,其余为稀有类群. 弹尾目、螨目、土壤动物总 个数在 4 个处理间差异显著(见表 1).

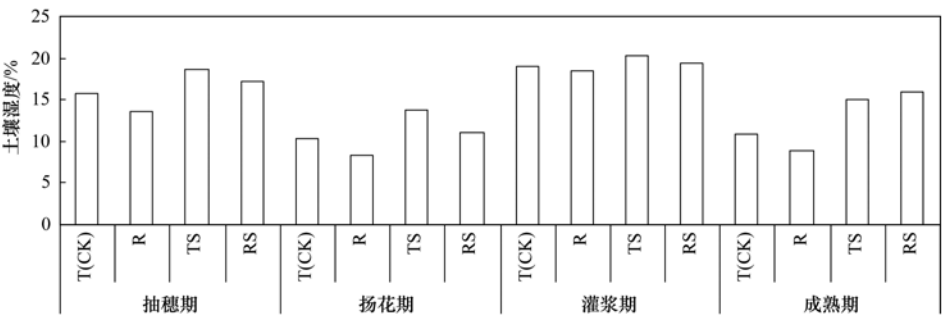


图 3 土壤含水量动态变化

Fig. 3 Dynamic changes in soil moisture

表 1 土壤动物数量与比例¹⁾

Table 1 Number and proportions of soil animals

动物种类	T(CK)		R		TS		RS	
	数量/个	比例/%	数量/个	比例/%	数量/个	比例/%	数量/个	比例/%
弹尾目	592 **	72. 11	570 * *	68. 43	779 * *	74. 76	890 * *	73. 92
螨目	189 *	23. 02	226 *	27. 13	205 *	19. 67	241 *	20. 02
双翅目	5	0. 61	3	0. 36	3	0. 29	2	0. 17
鞘翅目	3	0. 37	8	0. 96	6	0. 58	7	0. 58
缨翅目	1	0. 12	0	0. 00	0	0. 00	0	0. 00
蜘蛛目	7	0. 85	10	1. 20	8	0. 77	6	0. 50
膜翅目	3	0. 37	1	0. 12	6	0. 58	13	1. 08
蜈蚣目	6	0. 73	3	0. 36	5	0. 48	14	1. 16
线蚓科	9	1. 10	4	0. 48	9	0. 86	16	1. 33
单向蚓目	1	0. 12	1	0. 12	2	0. 19	2	0. 17
双尾目	0	0. 00	0	0. 00	13	1. 25	0	0. 00
圆马陆科	1	0. 12	0	0. 00	0	0. 00	2	0. 17
革翅目	0	0. 00	1	0. 12	1	0. 10	1	0. 08
直翅目	0	0. 00	4	0. 48	1	0. 10	5	0. 42
颚蛭目	0	0. 00	0	0. 00	0	0. 00	1	0. 08
蚤目	1	0. 12	0	0. 00	0	0. 00	0	0. 00
蛛形目	1	0. 12	2	0. 24	0	0. 00	3	0. 25
未知 1	2	0. 24	0	0. 00	0	0. 00	0	0. 00
未知 2	0	0. 00	0	0. 00	1	0. 10	0	0. 00
未知 3	0	0. 00	0	0. 00	3	0. 29	1	0. 08
合计	821 * *	100. 00	833 * *	100. 00	1 042 * *	100. 00	1 204 * *	100. 00

1) 未知 1、2、3 是未得到鉴定的土壤动物种类; ** 表示差异在 0. 01 水平上显著, * 表示差异在 0. 05 水平上显著

从多样性指数角度分析(见表 2)表明,秸秆覆盖有利于土壤动物种类和数量的增加,土壤动物多样性指数高出对照区 2. 5% ~ 3. 2%,表明长期秸秆覆盖下,土壤动物的复杂程度增加,群落结构更加稳定.

表 2 土壤动物多样性指数比较

Table 2 Comparison of soil animals diversity indices

多样性指数	T(CK)	R	TS	RS
H	0. 821	0. 828	0. 842	0. 847
E	0. 303	0. 306	0. 311	0. 313
C	0. 600	0. 590	0. 570	0. 540
D	0. 380	0. 393	0. 370	0. 382

从小麦整个生殖生长阶段捕获的农田土壤动物分析,秸秆覆盖使土壤动物数量增加 26. 9% ~ 44. 5%,土壤动物种类增加 11. 5%. 小麦抽穗期到成熟期 40 d 内,秸秆覆盖下土壤平均呼吸速率为 14. 096 g·(m²·d)⁻¹,没有秸秆覆盖的为 12. 378 g·(m²·d)⁻¹. 秸秆覆盖土壤呼吸作用强,除了土壤温度和土壤含水量的影响外,土壤动物的贡献也是重要原因.

将相邻时点的土壤呼吸平均后乘以间隔天数,即得到两次采样间隔期内的土壤呼吸量. 土壤动物以两个取样时点的平均值表示. 对土壤动物数量与土壤呼吸量进行相关分析,结果表明对照处理下的

土壤呼吸与弹尾目和土壤动物总个数相关性较高,分别为 0.669、0.759,垄作处理土壤呼吸与螨目和土壤动物总个数相关性较高,为 0.921、0.725,但是相关系数未达到显著水平。

3 讨论

土壤呼吸的影响因素很多,主要因子包括土壤温度、土壤湿度、土壤有机体含量、土地利用、施肥、土壤质地、种植作物、土壤生物等,既有环境因子,又有土壤本身的影响。各因素之间并不是孤立存在的,不仅同时对土壤呼吸产生影响,而且它们之间也有相互影响^[23]。

3.1 保护性耕作下土壤呼吸速率

前人已经对保护性耕作下土壤呼吸速率进行了研究,由于地区气候、土壤、种植模式的不同,得到的结论并不统一。秸秆覆盖处理在不同作物中对土壤呼吸的影响趋势一致,均在不同程度上增强了土壤呼吸,且随着秸秆分解后期对土壤呼吸的影响逐渐减弱。这跟以往的研究结论一致,一般认为秸秆还田会促进土壤中二氧化碳的释放^[24]。官情等^[25]在黄土旱塬区观测冬小麦农田土壤呼吸在秸秆覆盖措施下显著高于对照。张庆忠等^[26]在田间对比试验表明随着秸秆还田量的增加,土壤呼吸速率显著增加,且在秸秆还田后随着时间的推移增加效应逐渐减小。王同朝等^[27]研究了雨养条件下冬小麦-夏玉米农田土壤呼吸,指出土壤呼吸在不同作物垄作与传统耕作对土壤呼吸的影响效果相反,而且在同种作物不同生育期也不同:在小麦生育期内灌浆期以前垄作高于传统耕作,成熟期相反;在玉米生育期内垄作均高于传统耕作。本研究得出小麦生殖生长阶段垄作下土壤呼吸均高于平作。

3.2 土壤水热因子对土壤呼吸的影响

其中土壤温度和土壤水分是最重要的影响因素,农田生态系统土壤呼吸与土壤温度的关系有指数函数、线性函数、幂函数、抛物线等,不同学者所用的拟合模型不尽相同^[28~30]。其中采用指数模型最普遍,利用 Q_{10} 指数模型能够很好地反映土壤呼吸与土壤温度之间的关系。土壤水分是土壤重要的物理性质,影响土壤中所进行的所有反应和过程,土壤微生物的活性、土壤养分的迁移变化等与土壤水分密切相关。部分学者用抛物线函数、线性函数、指数函数等形式拟合了土壤呼吸与土壤水分的关系^[31~33],本研究中模拟的 5 cm 土壤水分与土壤呼吸表现为抛物线函数,土壤呼吸在土壤水分较少和

较多时均会受到抑制,主要是因为土壤微生物在低水分和高水分下呼吸作用减弱导致的。干燥的土壤被重新加湿时,土壤呼吸会出现一个脉冲式的增加,被称为“干湿效应”,是土壤有机质分解加速的原因^[22]。在土壤样品的培养试验中也发现土壤基础呼吸与土壤有机质含量存在线性相关关系。土壤含水量与土壤呼吸的关系比较复杂,确定不同类型土壤呼吸受到抑制时的两个土壤水分临界点,对农田生态系统固碳减排有一定的指导意义。

3.3 土壤动物对土壤呼吸的影响

土壤动物在生态系统中是重要的物质分解者,对改变土壤性质、物质迁移和能量转化具有重要的作用。全球变暖的趋势日益显著,而土壤动物对生态系统的碳循环有着重要的调节作用。由于开展的相关研究较少,土壤动物对土壤呼吸的影响、排放机制以及反馈效应的研究比较薄弱。在土壤呼吸组分的分离测定中,土壤动物只是其中一个方面,且采用干漏斗法取样只能捕获到部分中小型土壤动物,大型、微型土壤动物和土壤微生物与土壤呼吸的影响特征还有待进一步研究。本研究中秸秆覆盖处理降低了土壤动物与土壤呼吸之间的相关性,说明秸秆覆盖下土壤微环境复杂化,伴随土壤温度和湿度的变化,土壤呼吸受到多种因子的复合影响。因此还需要进一步开展土壤呼吸的水热生物复合因子耦合关系的研究,从而明确土壤呼吸的影响机制,为土壤固碳减排提供科学依据。

4 结论

(1)小麦生殖生长阶段农田土壤呼吸速率变化波动较小。各处理的土壤呼吸速率差异显著,表现为 $RS > R > TS > T$ 。垄作增强了小麦农田土壤呼吸作用,秸秆覆盖分解后期对土壤呼吸的影响不大。

(2)各处理 10 cm 土层的土壤温度表现为 $T > R > TS > RS$,土壤呼吸的土温敏感指标 Q_{10} 值排序为 $TS > RS > T > R$ 。秸秆覆盖处理的土壤呼吸对于土壤温度敏感性较高,垄作则降低了土壤温度敏感性。

(3)5 cm 土层的土壤含水量高低排序为 $TS > RS > T > R$ 。本研究中土壤呼吸的土壤水分响应阈值为 14.80%~17.47%,其中秸秆覆盖下的响应阈值较低,即在同一土壤湿度下有秸秆覆盖的地表的土壤呼吸将会过早的受到抑制,从而减少了二氧化碳的排放。

(4)土壤动物在土壤呼吸中的作用不容忽视。在小麦农田生态系统中优势类群有弹尾目和螨目,

它们与土壤呼吸表现出一定的相关性,其中以对照处理和垄作下相关性高,而有秸秆覆盖的处理土壤呼吸与土壤动物没有明显的相关性。

参考文献:

- [1] 王永强,崔凤娟,郭小刚. 农田生态系统土壤呼吸文献综述[J]. 内蒙古农业科技, 2010, (3): 65-67.
- [2] 韩广轩,周广胜,许振柱. 中国农田生态系统土壤呼吸作用研究与展望[J]. 植物生态学报, 2008, 32(3): 719-733.
- [3] 王兵,姜艳,郭浩,等. 土壤呼吸及其三个生物学过程研究[J]. 土壤通报, 2011, 42(2): 483-489.
- [4] 宋理洪,武海涛,吴东辉. 我国农田生态系统土壤动物生态学研究进展[J]. 生态学杂志, 2011, 30(12): 2898-2906.
- [5] 王移,卫伟,杨兴中,等. 我国土壤动物与土壤环境要素相互关系研究进展[J]. 应用生态学报, 2010, 21(9): 2441-2448.
- [6] Bokhorst S, Huiskes A, Convey P, *et al.* Climate change effects on soil arthropod communities from the Falkland Islands and the Maritime Antarctic [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2008, 40(7): 1547-1556.
- [7] Convey P, Pugh P J A, Jackson C, *et al.* Response of antarctic terrestrial microarthropods to long-term climate manipulations [J]. *Ecology*, 2002, 83(11): 3130-3140.
- [8] Kardol P, Reynolds W N, Norby R J, *et al.* Climate change effects on soil microarthropod abundance and community structure [J]. *Applied Soil Ecology*, 2011, 47(1): 37-44.
- [9] 刘继亮,李锋瑞,牛瑞雪,等. 黑河中游干旱绿洲土壤盐渍化对大型土壤动物群落的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(6): 1551-1561.
- [10] 孙贤斌,刘红玉,李玉成,张小平. 重金属污染对土壤动物群落结构及空间分布的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(9): 2080-2084.
- [11] 林恭华,赵芳,陈桂琛,等. 青海湖北岸不同土地利用方式对大型土壤动物群落的影响[J]. 草业学报, 2012, 21(2): 180-186.
- [12] 吴玉红,蔡青年,林超文,等. 四川紫色土丘陵区不同土地利用方式下中型土壤动物群落结构[J]. 生态学杂志, 2009, 28(2): 277-282.
- [13] 朱强根. 黄淮海平原土壤节肢动物对耕作和施肥的响应[D]. 南京:南京林业大学, 2010.
- [14] Scheu S, Schulz E. Secondary succession, soil formation and development of a diverse community of oribatids and saprophagous soil macro-invertebrates [J]. *Biodiversity and Conservation*, 1996, 5(2): 235-250.
- [15] Parrent J L, Morris W F, Vilgalys R. CO₂-enrichment and nutrient availability alter ectomycorrhizal fungal communities[J]. *Ecology*, 2006, 87(9): 2278-2287.
- [16] 张志丹,董炜华,魏健,等. 土壤动物学研究进展[J]. 中国农学通报, 2012, 28(29): 242-246.
- [17] 张海林,孙国峰,陈继康,等. 保护性耕作对农田碳效应影响研究进展[J]. 中国农业科学, 2009, 42(12): 4275-4281.
- [18] 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴[M]. 北京:科学出版社, 1998.
- [19] 吴鹏飞,刘兴良,刘世荣. 米亚罗林区冬季大型土壤动物空间分布特征[J]. 土壤学报, 2011, 48(3): 659-664.
- [20] Simmons J A, Fernandez I J, Briggs R D, *et al.* Forest floor carbon pools and fluxes along a regional climate gradient in Maine, USA[J]. *Forest Ecology and Management*, 1996, 84(1-3): 81-95.
- [21] Luo Y Q, Wan S Q, Hui D F, *et al.* Acclimatization of soil respiration to warming in a tall grass prairie [J]. *Nature*, 2001, 413(6856): 622-625.
- [22] 骆亦其,周旭辉,姜丽芬. 土壤呼吸与环境[M]. 北京:高等教育出版社, 2007. 9-10.
- [23] 刘绍辉,方精云. 土壤呼吸的影响因素及全球尺度下温度的影响[J]. 生态学报, 1997, 17(5): 469-476.
- [24] Bono A, Alvarez R, Buschiazio D E, *et al.* Tillage effects on soil carbon balance in a semiarid agroecosystem[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2008, 72(4): 1140-1149.
- [25] 官情,王俊,宋淑亚,等. 黄土旱塬区不同覆盖措施对冬小麦农田土壤呼吸的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(6): 1471-1476.
- [26] 张庆忠,吴文良,王明新,等. 秸秆还田和施氮对农田土壤呼吸的影响[J]. 生态学报, 2005, 25(11): 2883-2887.
- [27] 王同朝,卫丽,田原,等. 冬小麦-夏玉米一体化垄作覆盖下农田土壤呼吸变化研究[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(9): 1970-1974.
- [28] 戴万宏,王益权,黄耀,等. 农田生态系统土壤 CO₂ 释放研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2004, 32(12): 1-7.
- [29] 郑聚锋,张旭辉,潘根兴,等. 水稻土基底呼吸与 CO₂ 排放强度的日动态及长期不同施肥下的变化[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(4): 485-494.
- [30] 朱咏莉,吴金水,童成立,等. 稻田 CO₂ 通量对光强和温度变化的响应特征[J]. 环境科学, 2008, 29(4): 1040-1044.
- [31] 李虎,邱建军,王立刚. 农田土壤呼吸特征及根呼吸贡献的模拟分析[J]. 农业工程学报, 2008, 24(4): 14-20.
- [32] 邹建文,黄耀,宗良纲,等. 稻田 CO₂、CH₄ 和 N₂O 排放及其影响因素[J]. 环境科学学报, 2003, 23(6): 758-764.
- [33] 孟磊,丁维新,蔡祖聪. 长期施肥潮土土壤呼吸的温度和水分效应[J]. 生态环境, 2008, 17(2): 693-698.

CONTENTS

Observation of Size Distribution of Atmospheric OC/EC in Tangshan, China	GUO Yu-hong, XIN Jin-yuan, WANG Yue-si, <i>et al.</i> (2497)
Changing Characteristics of the Main Air Pollutants of the Dongling Mountain in Beijing	YU Yang-chun, HU Bo, WANG Yue-si (2505)
Characteristic Comparative Study of Particulate Matters in Beijing Before and During the Olympics	ZHANG Ju, OUYANG Zhi-yun, MIAO Hong, <i>et al.</i> (2512)
Characteristics and Impact Factors of O ₃ Concentrations in Mountain Background Region of East China	SU Bin-bin (2519)
Studies on the Size Distribution of Airborne Microbes at Home in Beijing	FANG Zhi-guo, SUN Ping, OUYANG Zhi-yun, <i>et al.</i> (2526)
Emission Factors of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Residential Coal Combustion and Its Influence Factors	HAI Ting-ting, CHEN Ying-jun, WANG Yan, <i>et al.</i> (2533)
Experimental Research on Alcohols, Aldehydes, Aromatic Hydrocarbons and Olefins Emissions from Alcohols Fuelled Vehicles	ZHANG Fan, WANG Jian-hai, WANG Xiao-cheng, <i>et al.</i> (2539)
Combination Process of Microwave Desorption-Catalytic Combustion for Toluene Treatment	CAO Xiao-qiang, ZHANG Hao, HUANG Xue-min (2546)
Removal of BTEX by a Biotrickling Filter and Analysis of Corresponding Bacterial Communities	LI Jian-jun, LIAO Dong-qi, XU Mei-ying, <i>et al.</i> (2552)
Source Profile of Volatile Carbonyl Compounds in Wastewater Treatment Plant of an Oil Refinery	ZHOU Bo-yu, LIU Wang, WANG Bo-guang, <i>et al.</i> (2560)
Distribution and Air-Sea Fluxes of Methane in the Yellow Sea and the East China Sea in the Spring	CAO Xing-peng, ZHANG Gui-ling, MA Xiao, <i>et al.</i> (2565)
Study on Seasonal Characteristics of Thermal Stratification in Lacustrine Zone of Lake Qiandao	DONG Chun-ying, YU Zuo-ming, WU Zhi-xu, <i>et al.</i> (2574)
Effects of Land Use Structure on Water Quality in Xin'anjiang River	CAO Fang-fang, LI Xue, WANG Dong, <i>et al.</i> (2582)
Canonical Correspondence Analysis Between Phytoplankton Community and Environmental Factors in Macrophtic Lakes of the Middle and Lower Reaches of Yangtze River	MENG Rui, HE Lian-sheng, GUO Long-gen, <i>et al.</i> (2588)
Microbial Bioavailability of Dissolved Nucleic Acids Across the Estuarine Salinity Gradient	YANG Qing-qing, LI Peng-hui, HUANG Qing-hui (2597)
Elementary Quantitative Study on Factors of Phytoplankton Bloom	ZHANG Zhuo, SONG Zhi-yao, HUANG Chang-chun, <i>et al.</i> (2603)
Spatiotemporal Succession of Algae Functional Groups and the Influence of Environment Change in a Deep-water Reservoir	LU Jin-suo, HU Ya-pan (2611)
Hyperspectral Remote Sensing of Total Suspended Matter Concentrations in Lake Taihu Based on Water Optical Classification	ZHOU Xiao-yu, SUN De-yong, LI Yun-mei, <i>et al.</i> (2618)
Application of Subwet Model in the Design of Constructed Wetland	LI Hui-feng, HUANG Jin-hui, LIN Chao (2628)
Allelopathic Effect of <i>Nelumbo nucifera</i> Stem and Leaf Tissue Extract on the Growth of <i>Microcystis aeruginosa</i> and <i>Scenedesmus quadricauda</i>	HE Lian-sheng, MENG Fan-li, DIAO Xiao-jun, <i>et al.</i> (2637)
Influence of <i>Vallisneria spiralis</i> on the Physicochemical Properties of Black-odor Sediment in Urban Sluggish River	XU Kuan, LIU Bo, WANG Guo-xiang, <i>et al.</i> (2642)
Removal of Cr(VI) by Iron Filings with Microorganisms to Recover Iron Reactivity	TANG Jie, WANG Zhuo-xing, XU Xin-hua (2650)
Degradation of Phenol with a Fe/Cu-Catalytic Heterogeneous-Fenton Process	YANG Yue-zhu, LI Yu-ping, YANG Dao-wu, <i>et al.</i> (2658)
Effect of Different Forms of Inorganic Nitrogen on the Photodegradation of Antipyrine in Water	ZHAO Qian, CHEN Chao, FENG Li, <i>et al.</i> (2665)
Degradation Mechanisms of Dimethyl Phthalate in the UV-H ₂ O ₂ System	LIU Qing, CHEN Cheng, CHEN Hong-zhe, <i>et al.</i> (2670)
Adsorption of Cd ²⁺ Ions in Aqueous by Diamine-Modified Ordered Mesoporous SBA-15 Particles	ZHANG Meng, YANG Ya-ti, QIN Rui, <i>et al.</i> (2677)
Surface Organic Modification of Acid Vermiculite and Its Adsorption of Hydrophobic Micro Pollutants in Aqueous Solutions	JIANG Zheng-ming, YU Xu-biao, HU Yun, <i>et al.</i> (2686)
Preparation of Porous Ceramics Based on Waste Ceramics and Its Ni ²⁺ Adsorption Characteristics	ZHANG Yong-li, WANG Cheng-zhi, SHI Ce, <i>et al.</i> (2694)
Perchlorate Removal from Underground Water by Anaerobic Biological Reduction with Bark	WANG Rui, LIU Fei, CHEN Nan, <i>et al.</i> (2704)
Experimental Study on the Remediation of Chromium Contaminated Groundwater with PRB Media	ZHU Wen-hui, DONG Liang-fei, WANG Xing-run, <i>et al.</i> (2711)
Removal of Calcium and High-strength Ammonia Nitrogen from the Wastewater of Rare-earth Elements Hydrometallurgical Process by Chemical Precipitation	WANG Hao, CHENG Guan-wen, SONG Xiao-wei, <i>et al.</i> (2718)
Leaching Kinetics of Josephinite Tailings with Sulfuric Acid	CHEN An-an, ZHOU Shao-qi, HUANG Peng-fei (2729)
Effects of HRT on Fate of Typical Polycyclic Musk by A ² O Process	LIU Peng-cheng, HUANG Man-hong, CHEN Dong-hui, <i>et al.</i> (2735)
Kinetic Simulation of Enhanced Biological Phosphorus Removal with Fermentation Broth as Carbon Source	ZHANG Chao, CHEN Yin-guang (2741)
Effluent Carbon Source Improvement and Sludge Reduction by Hydrolysis Reactor with Enhanced Sludge Utilization	XIONG Ya, WANG Qiang, SONG Ying-hao, <i>et al.</i> (2748)
Optimization of Extracellular Polymeric Substance Extraction Method and Its Role in the Dewaterability of Sludge	ZHOU Jun, ZHOU Li-xiang, WONG Woo-chung (2752)
Effectiveness of Arsenite Adsorption by Ferric and Alum Water Treatment Residuals with Different Grain Sizes	LIN Lu, XU Jia-rui, WU Hao, <i>et al.</i> (2758)
Regional Differences and Development Tendency of Livestock Manure Pollution in China	QIU Huan-guang, LIAO Shao-pan, JING Yue, <i>et al.</i> (2766)
Quantitative Partitioning of Soil Selenium in the Selenium-Rich Area of Northern Zhejiang Plain	XU Ming-xing, PAN Wei-feng, CENG Jing, <i>et al.</i> (2775)
Effects of Land Use on Manganese Distribution and Fractions in Wetland Soil of Sanjiang Plain, Northeast China	ZHANG Zhong-sheng, LU Xian-guo, SONG Xiao-lin (2782)
Research on Vertical Distribution Pattern and Reserve of Organic Carbon in Paddy Field Soil of Qianguo, Jilin	TANG Jie, ZHANG Wen-hui, LI Zhao-yang, <i>et al.</i> (2788)
Soil Organic Carbon Sequestration Rate and Its Influencing Factors in Farmland of Guanzhong Plain; A Case Study in Wugong County, Shanxi Province	ZHANG Xiao-wei, XU Ming-xiang (2793)
Effects of Biological Regulated Measures on Active Organic Carbon and Erosion-Resistance in the Three Gorges Reservoir Region Soil	HUANG Ru, HUANG Lin, HE Bing-hui, <i>et al.</i> (2800)
Quantifying Soil Autotrophic Microbes-Assimilated Carbon Input into Soil Organic Carbon Pools Following Continuous ¹⁴ C Labeling	SHI Ran, CHEN Xiao-juan, WU Xiao-hong, <i>et al.</i> (2809)
Analysis of Soil Respiration and Influence Factors in Wheat Farmland Under Conservation Tillage in Southwest Hilly Region	ZHANG Sai, ZHANG Xiao-yu, WANG Long-chang, <i>et al.</i> (2815)
Distribution Characteristics and Risk Evaluation of Organochlorine Pesticides in Soil from Relocation Areas of the Danjiangkou Reservoir	LI Zi-cheng, QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, <i>et al.</i> (2821)
Risk Assessment and Countermeasure of BTEX in Pesticide Factory	PANG Bo, WANG Tie-yu, DU Li-yu, <i>et al.</i> (2829)
Accumulation of S, Fe and Cd in Rhizosphere of Rice and Their Uptake in Rice with Different Water Managements	ZHANG Xue-xia, ZHANG Xiao-xia, ZHENG Yu-ji, <i>et al.</i> (2837)
Effects of Nitrate on Organic Removal and Microbial Community Structure in the Sediments	LIU Jin, DENG Dai-yong, SUN Guo-ping, <i>et al.</i> (2847)
Zero-Valent Iron-Enhanced Azoreduction by the <i>Shewanella decolorationis</i> S12	ZHOU Qing, CHEN Xing-juan, GUO Jun, <i>et al.</i> (2855)
Isolation, Identification of Two Aerobic Denitrifiers and Bioaugmentation for Enhancing Denitrification of Biofilm Under Oligotrophic Conditions	QUAN Xiang-chun, CEN Yan, QIAN Yin (2862)
Rapid Enrichment and Cultivation of Denitrifying Phosphate-Removal Bacteria and Its Identification by Fluorescence <i>in situ</i> Hybridization Technology	LIU Li, TANG Bing, HUANG Shao-song, <i>et al.</i> (2869)
Identification of a Denitrifying Polyphosphate-accumulating Organism (DPAO) and Study on Its Denitrifying Functional Genes	ZHANG Qian, WANG Hong-yu, SANG Wen-jiao, <i>et al.</i> (2876)
Isolation and Characterization of a Highly Efficient BBP-degrading Bacterium	CHEN Hu-xing, YANG Xue, ZHANG Kai, <i>et al.</i> (2882)
Degradation of Nicosulfuron by Combination Effects of Microorganisms and Chemical Hydrolysis	ZHANG Xiao-lin, LI Yong-mei, YUAN Zhi-wen (2889)
Isolation, Screening and Identification of Prometryne-Degrading Bacteria and Their Degrading Characteristics	ZHOU Ji-hai, SUN Xiang-wu, HU Feng, <i>et al.</i> (2894)
Preparation of PVA-SA-PHB-AC Composite Carrier and <i>m</i> -Cresol Biodegradation by Immobilized <i>Lysinibacillus cresolivorans</i>	LI Ting, REN Yuan, WEI Chao-hai (2899)
Extraction of Surface Active Substance and Analysis of Demulsifying Characteristics for the Demulsifying Strain <i>Alcaligenes</i> sp. S-XJ-1	HUANG Xiang-feng, ZHANG Shu-cong, PENG Kai-ming, <i>et al.</i> (2906)
Diversity of Culturable Filamentous Bacteria in the Activated Sludge from A ² O Wastewater Treatment Process	GAO Sha, JIN De-cai, ZHAO Zhi-rui, <i>et al.</i> (2912)
Composition and Transformation of Leachates During Municipal Solid Waste Composting	LI Dan, HE Xiao-song, XI Bei-dou, <i>et al.</i> (2918)

《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)

2013年7月15日 34卷 第7期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 7 Jul. 15, 2013

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