

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

HUANJING KEXUE

南京北郊大气降水中水溶性无机氮和有机氮沉降特征

张佳颖, 于兴娜, 张毓秀, 丁铖, 侯思宇



■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2022年7月

第43卷 第7期

Vol.43 No.7

目次

两种模式下中国未来发电行业发展情景及其环境效益分析 刘春景, 吕建斌, 赵汶畅, 徐卿, 金玉佳(3375)

基于 LEAP 模型的兰州市道路交通温室气体与污染物协同减排情景模拟 庞可, 张芊, 马彩云, 祝禄祺, 陈恒葵, 孔祥如, 潘峰, 杨宏(3386)

基于半级别的城市空气质量预报评估方法探讨 王晓彦, 朱莉莉, 许荣, 高愈霄, 朱媛媛, 汪巍, 刘冰(3396)

厦门港大气 PM_{2.5} 中重金属污染特征及健康风险评价 肖思晗, 蔡美君, 李香, 黄屋, 王坚, 朱清墩, 吴水平(3404)

南京北郊大气降水中水溶性无机氮和有机氮沉降特征 张佳颖, 于兴娜, 张毓秀, 丁敏, 侯思宇(3416)

晋中盆地主要城市冬季 PM_{2.5} 传输特征分析 王小兰, 王雁, 闫世明, 岳江, 郭伟, 郝振荣(3423)

鄂尔多斯市夏秋季黑碳气溶胶时间演变特征及其来源解析 孔祥晨, 张连霞, 张彩云, 王红磊, 许晶, 郑佳锋(3439)

济源冬季 VOCs 污染特征、来源和 SOAP 王芳, 李利霞, 王红果, 赵宗生, 张建平, 张栋(3451)

长株潭城区 8 月 VOCs 污染特征及来源分析 罗达通, 张青梅, 刘湛, 尤翔宇, 黄杰, 宋云飞, 张敬巧(3463)

2019 年 7 月石家庄市 O₃ 生成敏感性 & 控制策略解析 朱家贤, 王晓琦, 欧盛菊, 张新宇(3473)

华北平原 AOD 时空演化与影响因素 郭霖, 孟飞, 马明亮(3483)

基于地基太阳光度计观测的长安区气溶胶光学特性变化及其与颗粒物浓度的关系 郑玉蓉, 王旭红, 崔思颖, 冯子豪, 张秀, 刘康(3494)

基于长时序“地-星”数据的京津冀大气污染时空分布及演变特征 王耀庭, 殷振平, 郑祚芳, 李炬, 李青春, 孟春雷, 李威(3508)

近十年洪泽湖富营养化状态变化趋势及原因分析 陈天宇, 刘常清, 史小丽, 李云, 范子武, 贾本有, 廖轶鹏(3523)

高原湖泊周边浅层地下水: 磷素时空分布及驱动因素 杨恒, 李桂芳, 叶远行, 陈清飞, 崔荣阳, 张丹, 陈安强(3532)

三峡水库不同支流库湾蓄水区溶解氧分层特性及差异性 纪道斌, 方娇, 龙良红, 杨正健, 赵星星, 杨霞, 郭亚丽(3543)

典型喀斯特城市湖库溶解性有机质成分特征及来源解析 倪茂飞, 周慧, 马永梅, 苏印, 王晓丹, 王志康(3552)

骆马湖表层水和沉积物中全氟化合物赋存特征、来源及健康风险评估 黄家浩, 吴玮, 黄天寅, 陈书琴, 项颂, 庞燕(3562)

千岛湖浮游植物群落结构的垂向分布特征及其影响因素 王吉毅, 霍翟, 国超旋, 朱广伟, 龚志军, 范亚文, 王建军(3575)

泗河水系沉积物磷的存在形态及其空间分布特征 张子涵, 张鑫茹, 贾传兴, 甘延东, 王世亮(3587)

降雨径流过程中土地利用优化配置对磷流失的影响 周豪, 陈方鑫, 罗义峰, 龙翼, 周继, 王小燕, 李丹丹, 陈晓燕(3597)

典型生物滞留设施重金属累积分布特征与风险评价 储杨阳, 杨龙, 周媛, 王喜龙, 王嗣禹, 张敏(3608)

筑坝蓄水对不同水深浮游微生物群落结构和种间互作模式的影响 王洵, 张佳佳, 袁秋生, 胡斌, 刘胜(3623)

天津独流减河流域不同等级河流沉积物细菌区系及功能辨识 刘嘉元, 丰玥, 杨雪纯, 张彦, 李德生, 刘福德(3635)

地表水悬浮态多环芳烃时空变化特征及主要输入源响应机制 彭珂醒, 李瑞飞, 周亦辰, 卓泽铭, 张晋, 李梅, 李雪(3645)

北京市通州区河流中微塑料组成的空间分布及潜在来源解析 门聪, 李颀, 左剑恶, 邢薇, 刘梦瑶, 魏凡钦, 胡嘉敏, 谢珍雯, 邢鑫, 沈杨贵(3656)

微塑料对鲫鱼生长、肝脏损伤和肠道微生物组成的影响 胡嘉敏, 左剑恶, 李金波, 张艳艳, 艾翔, 龚大惠, 张继文, 孙丁明(3664)

不同类型脱水药剂对底泥固化效果和理化性质的影响 任俊, 殷鹏, 王威振, 唐婉莹, 尹洪斌, 朱丽娟(3672)

微纳米粒径生物炭的结构特征及其对 Cd²⁺ 吸附机制 马文艳, 裴刚刚, 高歌, 孙约兵(3682)

不同生物炭对磷的吸附特征及其影响因素 连神海, 张树楠, 刘锋, 邢宏霖, 吴金水(3692)

Mg-La-Fe/沸石复合材料的制备及其处理低浓度含磷废水的性能 印学杰, 宋小宝, 丁陈蔓, 冯彦房, 杨祺, 何世颖, 薛利红(3699)

一体式部分亚硝化-厌氧氨氧化工艺污泥膨胀发生和恢复过程中微生物群落演替及 PICRUS2 功能预测分析 李亚男, 闫冰, 郑蕊, 姚丽, 隋倩雯, 魏源送(3708)

丝状菌膨胀污泥好氧颗粒化稳定性及微生物多样性 高春娣, 杨箫阳, 欧家丽, 韩颖璐, 程丽阳, 彭永臻(3718)

2000~2020 年长江流域植被 NDVI 动态变化及影响因素探测 徐勇, 郑志威, 郭振东, 窦世卿, 黄雯婷(3730)

近 40 年来福建省水稻土有效磷富集效应及潜在生态风险评估 陈中星, 邱龙霞, 陈瀚闾, 范协裕, 毋亭, 沈金泉, 邢世和, 张黎明(3741)

土地利用变化对西南喀斯特土壤团聚体组成、稳定性以及 C、N、P 化学计量特征的影响 何宇, 盛茂银, 王轲, 王霖娇(3752)

长江经济带矿山土壤重金属污染及健康风险评价 张浙, 卢然, 伍思扬, 贾智彬, 王宁(3763)

煤矸石堆积区周边土壤重金属污染特征与植物毒性 尚誉, 桑楠(3773)

燃煤工业区不同土地利用类型土壤汞含量污染评价 李强, 姚万程, 赵龙, 张朝, 张恩月, 苏迎庆, 刘庚(3781)

广州市南沙区第四区剖面镉富集特征及生物有效性 王芳婷, 包科, 黄长生, 赵信文, 顾涛, 曾敏(3789)

黔西北山区耕地重金属健康风险评价及环境基准 徐梦琪, 杨文毅, 杨利玉, 陈勇林, 景灏楠, 吴攀(3799)

土壤重金属生物可利用性影响因素及模型预测 张加文, 田彪, 罗晶晶, 吴凡, 张聪, 刘征涛, 王晓南(3811)

添加有机物料对豫中烟田土壤呼吸的影响 鲁琪飞, 叶协锋, 韩金, 潘昊东, 张明杰, 王晶, 杨佳豪, 姚鹏伟, 李雪利(3825)

不同稻作系统土壤的 CH₄ 产生潜力与产生途径 沈皖豫, 黄琼, 马静, 张广斌, 徐华(3835)

东部平原矿区复垦土壤微生物群落特征及其组装过程 马静, 董文雪, 朱燕峰, 肖栋, 陈浮(3844)

同质环境下不同锦鸡儿属植物根际土壤细菌群落结构差异及其影响因素 李媛媛, 徐婷婷, 艾喆, 魏庐璐, 马飞(3854)

岩溶与非岩溶区水稻土团聚体细菌群落结构和功能类群比较 肖筱怡, 靳振江, 冷蒙, 李雪松, 熊丽媛(3865)

紫色土中微生物群落结构及功能特征对土壤 pH 的差异化响应 王智慧, 蒋先军(3876)

有机物料还田对稻田土壤 DOM 碳源代谢能力的影响 肖怡, 李峥, 黄容, 汤奥涵, 李冰, 王昌全(3884)

《环境科学》征订启事(3403) 《环境科学》征稿简则(3462) 信息(3493, 3655, 3834)

添加有机物料对豫中烟田土壤呼吸的影响

鲁琪飞¹, 叶协锋¹, 韩金¹, 潘昊东¹, 张明杰¹, 王晶¹, 杨佳豪¹, 姚鹏伟^{1*}, 李雪利^{2*}

(1. 河南农业大学烟草学院, 国家烟草栽培生理生化研究基地, 郑州 450002; 2. 中国烟草总公司职工进修学院, 郑州 450008)

摘要: 采用田间试验, 设置不施肥(NF)、单施化肥(NPK)、化肥+黑麦草(NPKG)、化肥+小麦秸秆(NPKS)和化肥+烟秆生物炭(NPKB)这5个处理, 通过测定烤烟生育期土壤总呼吸速率(R_s)及其组分以及环境因子的动态变化, 探讨了添加不同有机物料对烟田土壤呼吸的影响. 结果表明: ①与NPK相比, NPKG和NPKS降低了土壤总呼吸和异养呼吸温度敏感性(Q_{10}), NPKB提高了异养呼吸 Q_{10} ; 土壤呼吸与土壤水热因子的双因素拟合模型能解释土壤呼吸变化50%~80%. ②添加有机物料显著提高了土壤可溶性有机碳(DOC)含量和根系干物质质量, 土壤异养呼吸(R_h)与DOC含量呈显著线性回归关系, 土壤自养呼吸(R_a)与根系生物量呈显著抛物线型关系, R^2 为0.327~0.634. ③烤烟生育期土壤呼吸呈先增加后降低趋势. 与NF相比, NPK处理显著增加了土壤呼吸及其组分; 与NPK相比, NPKG、NPKS和NPKB处理 R_s 速率分别显著提高20.08%、10.32%和9.88%, R_h 速率分别显著提高24.21%、16.51%和11.68%, 且NPKG处理 R_a 速率显著提高15.12%. 综上所述, 秸秆还田和添加生物炭主要通过提高土壤DOC促进 R_h 和 R_s ; 翻压黑麦草既提高了 R_h , 同时也通过促进根系生长发育而提高 R_a , 进而提高 R_s .

关键词: 有机物料; 土壤呼吸; 自养呼吸; 异养呼吸; 植烟土壤

中图分类号: X144 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2022)07-3825-10 DOI: 10.13227/j.hjxx.202109003

Effect of Organic Material Amendments on Soil Respiration in Tobacco Fields of Central Henan

LU Qi-fei¹, YE Xie-feng¹, HAN Jin¹, PAN Hao-dong¹, ZHANG Ming-jie¹, WANG Jing¹, YANG Jia-hao¹, YAO Peng-wei^{1*}, LI Xue-li^{2*}

(1. National Tobacco Cultivation and Physiology and Biochemistry Research Center, College of Tobacco Science, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China; 2. Staff Training College of China National Tobacco Corporation, Zhengzhou 450008, China)

Abstract: A field experiment was conducted to study the effects of different organic material amendments on soil respiration in a flue-cured tobacco field. Five treatments were set up: no fertilizer (NF), chemical fertilizer (NPK), chemical fertilizer + ryegrass (NPKG), chemical fertilizer + wheat straw (NPKS), and chemical fertilizer + tobacco straw biochar (NPKB). The results showed that: ① Compared with that under NPK, NPKG and NPKS decreased the temperature sensitivity (Q_{10}) of total soil respiration and heterotrophic respiration, whereas NPKB increased the Q_{10} of heterotrophic respiration. The two-factor fitting model of soil respiration and soil hydrothermal factors accounted for 50%-80% of the variation in soil respiration. ② The addition of organic materials significantly increased the content of soil soluble organic carbon (DOC) and root dry matter. Soil heterotrophic respiration (R_h) was significantly positively correlated with DOC content, and soil autotrophic respiration (R_a) was significantly parabolically correlated with root biomass, with an R^2 of 0.327-0.634. ③ Soil respiration increased first and then decreased during the tobacco growth period. Compared with that under the NF treatment, the NPK treatment significantly promoted soil respiration and its components. Compared with those of the NPK treatment, R_s rates were significantly increased by 20.08%, 10.32%, and 9.88% under the NPKG, NPKS, and NPKB treatments, respectively; R_h rate increased by 24.21%, 16.51%, and 11.68% respectively, and R_a rate was increased by 15.12% in the NPKG treatment. In summary, straw returning and biochar addition significantly increased R_h by increasing soil DOC, thereby promoting R_s . Incorporation of ryegrass not only increased the R_h but also increased R_a by promoting the growth and development of roots and therefore the R_s .

Key words: organic materials; soil respiration; autotrophic respiration; heterotrophic respiration; tobacco-growing soil

土壤碳库是陆地生态系统中最大的碳库,也是全球碳循环过程的重要组成部分,其碳储量占陆地生态系统的67%^[1-3]. 土壤呼吸是陆地土壤碳库向大气碳库输入二氧化碳(CO₂)的主要途径,其年CO₂排放量约占大气碳库的10%,是化石燃料燃烧释放CO₂量的10倍甚至更高,故土壤呼吸微小的变化就会直接影响大气CO₂浓度和土壤碳库累积,进而影响全球气候变化^[4,5]. 土壤呼吸主要由植物根系自养呼吸和土壤微生物的异养呼吸组成,而根系呼吸是消耗植株自身光合产物的碳排放,并不造成土壤碳损失,研究土壤呼吸组分变化有助于深入了解土壤-植物系统碳平衡动态及土壤呼吸对环境

因子变化的敏感性^[6-9]. 农田土壤碳库是陆地生态系统的重要组成部分,其受人类活动干扰较大,但同时也有较大的固碳减排潜力^[10-12],合理的农田管理措施可以有效促进农田土壤碳库积累,使其由碳源向碳汇转变^[13].

烟草是我国重要的经济作物,其产量和种植面积位居世界第一^[14]. 河南是典型浓香型烟叶的代表

收稿日期: 2021-09-01; 修订日期: 2021-11-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(41907076); 烟草行业烟草栽培重点实验室项目(30800665); 河南省科技攻关项目(222102320440)

作者简介: 鲁琪飞(1997~),男,硕士研究生,主要研究方向为烟草栽培生理, E-mail: 7718531@qq.com

* 通信作者, E-mail: ypw198612@163.com; lixueli917@163.com

性产区.近年来,随着工业化和农业生产方式的转变,烟区普遍存在长期连作、过量施用化肥及土地重用轻养等不科学的农田管理措施,导致烟区土壤碳库下降和质量退化,限制浓香型烟叶生产的持续健康发展^[15,16].许多学者针对如何改善我国植烟土壤肥力和提升烟叶产质量开展了大量土壤保育和改良工作,其中以秸秆还田、施加生物炭和绿肥翻压等添加有机物料的改良方式较为普遍且效果显著^[17~19].但外源有机物料的添加在培肥增产的同时也会显著影响农田土壤 CO₂ 排放.有研究表明^[20~24],秸秆还田和绿肥翻压能增加土壤有机碳,改良土壤结构,促进作物根系发育,但同时也因改善了土壤通气状况,给予微生物呼吸丰富的底物和促进根系呼吸而增强了土壤呼吸作用.生物炭是生物质在缺氧条件下热解炭化后得到的含碳量高的芳香物质,具有丰富的多孔结构和巨大的表面积^[25].目前关于施加生物炭对农田土壤 CO₂ 排放的影响结论不一,有研究认为^[26,27],添加生物炭改善了土壤的理化性质从而为微生物生长提供了良好的生活环境,进而促进碳排放;有学者认为生物炭的吸附性结构可以促进土壤团聚体的生成^[28,29],减缓土壤有机质的矿化,从而降低土壤碳排放.造成不同结果的原因可能与生物炭原材料、试验地土壤类型和生态环境等有关^[30,31].近年来关于添加有机物料对农田土壤呼吸影响的研究主要集中在玉米、小麦和水稻等粮食作物,而在烟草方面研究较少,且对比评价秸秆、绿肥和生物炭这3种有机物料对土壤呼吸及其组分影响的研究目前尚未见报道.

因此本文以豫中烟田为研究对象,通过田间原位监测烤烟生育期土壤呼吸及其组分的变化情况,并分析土壤呼吸对环境因子的响应特征,探讨不同有机物料还田对植烟土壤呼吸的影响机制,以期评估烟田生态系统碳收支平衡以及筛选出能固碳减

排的施肥措施提供参考.

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本试验地位于河南省郑州市惠济区河南农业大学科教园区,地理位置为 N 34.86°、E 113.59°,属北温带大陆性季风气候,年平均气温 14~14.3℃,年平均降雨量 550~650 mm,无霜期约 220 d.供试土壤质地为砂壤土,其基本理化性质为:ω(有机质)16.76 g·kg⁻¹,ω(碱解氮)32.40 mg·kg⁻¹,ω(速效磷)29.19 mg·kg⁻¹,ω(速效钾)135.47 mg·kg⁻¹,pH 为 7.57.

1.2 试验设计

本试验采用随机区组设计,共设置 5 个处理(表 1),3 个重复,每个小区面积为 67 m²,并采用 100 cm×50 cm×4 cm 规格的水泥板进行小区隔断.2019 年 5 月 1 日进行烟苗(中烟 100)大田移栽,于 2019 年 9 月 3 日采收结束.烟株行株距为 110 cm×50 cm.分别在烟田起垄、移栽后 15 d、移栽后 30 d、移栽后 45 d 时进行施基肥及 3 次追肥,氮磷钾比例为 1:2:3,氮肥基追比例为 2:0.5:0.5:0.5,基肥按条施施入,追肥溶于水施入,翻耕起垄与施基肥同日进行.化肥基肥种类为烟草专用肥(8% N, 12% P₂O₅, 20% K₂O)、过磷酸钙(16% P₂O₅)、硫酸钾(52% K₂O),追肥种类为硝酸钾(13.5% N, 44.5% K₂O).翻压前黑麦草、小麦秸秆和烟秆生物炭养分含量及用量(干重)如表 1 所示,小麦秸秆在 2018 年 10 月 1 日还田,黑麦草在 2018 年 10 月 7 日播种,2019 年 3 月 28 日将黑麦草切碎后翻压还田,烟秆生物炭的制备温度为 450℃,炭化时间为 2 h,在整地时将烟秆生物炭撒施并用旋耕机翻入土壤.烟草田间种植管理均与河南地区优质烟叶栽培管理措施一致.

表 1 各处理化肥和有机物料施用量

Table 1 Application amount of chemical fertilizer and organic materials in each treatment

处理	化肥/kg·hm ⁻²			有机物料	用量/kg·hm ⁻²	有机物料养分含量/%			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O			全氮	全磷	全钾	全碳
不施肥(NF)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
氮磷钾(NPK)	52.5	90	150.9	—	—	—	—	—	—
氮磷钾+种植并翻压黑麦草(NPKG)	52.5	90	150.9	黑麦草	6 250	2.03	0.22	0.51	42.56
氮磷钾+小麦秸秆(NPKS)	52.5	90	150.9	小麦秸秆	6 000	0.72	0.21	0.65	44.46
氮磷钾+烟秆生物炭(NPKB)	52.5	90	150.9	烟秆生物炭	6 000	1.12	1.37	2.31	45.86

1.3 测定方法

1.3.1 土壤呼吸速率

采用 LI-6400XT 便携式光合作用系统连接 6400-09 呼吸室测定土壤呼吸.各小区设置一块 1.5 m×1.5 m 规格的裸地,分别在各处理行间、株间

和裸地选取 3 个位置,于测定前 3 d 将自制的 PVC 环插入土壤作为底座.按区组顺序依次测定,小区内测定顺序依次为:垄上、垄间和裸地,每个 PVC 环测定 1 次,测定时间统一为 09:00~11:00,采样频率通常为一周一次,下雨或灌溉后适当调整.裸地测

得的土壤呼吸为异养呼吸(R_h), 垄上呼吸与垄间呼吸的均值为土壤总呼吸(R_s), 土壤总呼吸与异养呼吸的差值为土壤自养呼吸(R_a).

1.3.2 土壤水分、温度和可溶性有机碳

用 LI-6400XT 便携式光合作用系统配套的土壤温度探针测定土壤 10 cm 处的温度, 采用 TDR-100 土壤水分仪(美国 Spectrum)测量土壤 10 cm 体积含水率. 分别于烟苗移栽后 30、60、90 和 120 d, 采用五点取样法采取每个小区 0~20 cm 土壤样品, 混匀后去除杂物并带回实验室自然风干, 过筛, 采用蒸馏水浸提(水: 土=5:1)后用 TOC 仪测定土壤可溶性有机碳含量.

1.3.3 烟株根系生物量

移栽后每 15 d 在各小区选取 3 株植物样, 用铁锹在根系周围挖 30 cm 深沟铲出根系, 取出后将带土根系套上尼龙网袋泡入水中, 使根系周围土壤吸水松软, 随后用慢水将剩余泥土冲洗干净, 放入烘箱中 105℃ 杀青 30 min, 随后调至 65℃ 烘干至恒重.

1.4 数据分析

土壤呼吸和土壤温度的指数拟合方程:

$$R = ae^{bT} \quad (1)$$

式中, R 为土壤呼吸速率 [$\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$], T 为 10 cm 土壤温度 ($^{\circ}\text{C}$), a 和 b 为拟合参数.

土壤呼吸温度敏感系数:

$$Q_{10} = e^{10b} \quad (2)$$

式中, Q_{10} 为温度敏感系数, 其含义为温度每升高 10℃, 土壤呼吸所增加的倍数.

土壤呼吸与土壤水热双因素的非线性拟合方程:

$$R = a \cdot e^{bT} \cdot W^c \quad (3)$$

式中, R 为土壤呼吸速率 [$\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$], W 为 10 cm 土壤体积含水率 (%), T 为 10 cm 土壤温度 ($^{\circ}\text{C}$), a 、 b 和 c 为拟合参数.

采用 Excel 2010 对数据进行整理计算; 采用 IBM Statistic SPSS 22.0 进行单因素方差分析和偏相关分析; 采用 Origin 2021 进行回归分析和作图.

2 结果与分析

2.1 不同处理植烟土壤水热因子的动态变化

生育期内各处理 10 cm 土壤温度的变化趋势基本一致, 整体均表现为先升高后缓慢降低(图 1). 移栽时 10 cm 土壤温度最低, 各处理温度为 13.82~15.26℃; 随后逐渐升高并在 7 月初达到峰值, 各处理最高温度 29.17~30.48℃. 各处理生育期平均温度没有显著差异($P > 0.05$).

烤烟生育期内各处理 10 cm 土壤含水率波动明显, 变化趋势相似(图 1). 生育期内土壤含水率为 7.92%~41.43%, 最大值出现在 8 月初强降雨后, 上部叶采收后(9 月 3 日)土壤含水率达到最低, 生育期各处理差异不显著($P > 0.05$).

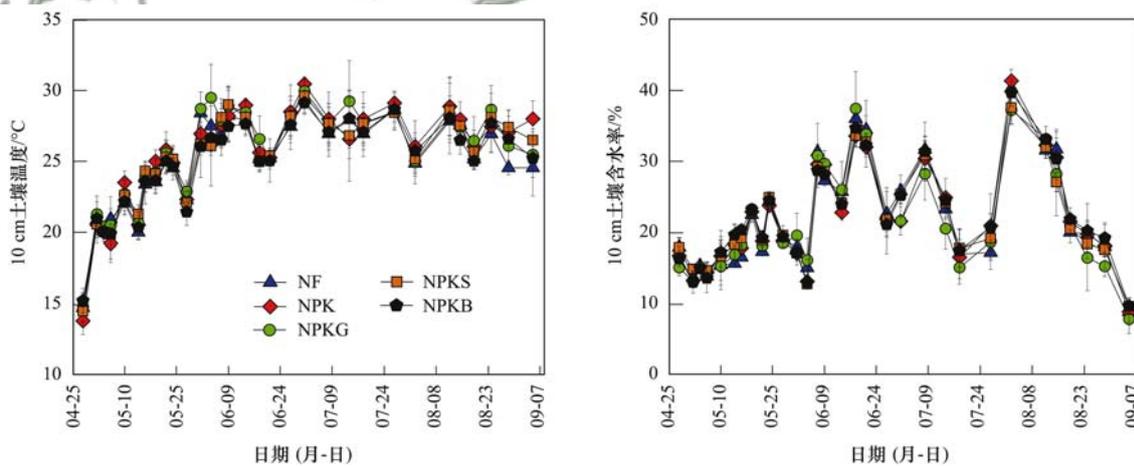


图 1 不同处理 10 cm 土壤温度和体积含水率的变化

Fig. 1 Variations in soil temperature and volumetric water content at a depth of 10 cm under different treatments

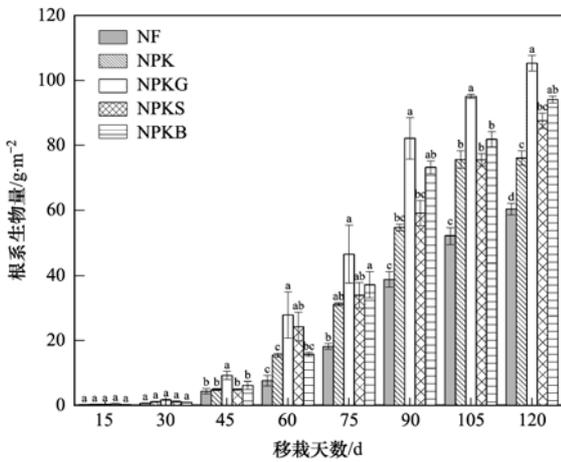
2.2 不同处理根系生物量及土壤可溶性有机碳的变化

2.2.1 生育期不同处理根系生物量的变化

由图 2 可以看出, 生育期不同处理的根系生物量均随生育期的推进而不断增加, 并在移栽后 120 d 达到最大值. 移栽 30 d 以前, 各处理间根系生物量没有显著差异($P > 0.05$); 从移栽后 45 d 开始直

到生育期结束, NPKG 处理根系生物量始终高于其他处理且与 NPK 处理间差异达到显著水平(除移栽后 75 d); 移栽 75 d 以后, NPKB 处理根系生物量整体高于 NPKS 处理, 整个生育期两个处理间没有显著差异($P > 0.05$); 移栽后 120 d, 各处理根系生物量大小依次为: NPKG > NPKB > NPKS > NPK > NF, 与 NPK 处理相比, NPKG 和 NPKB 根系生物量分别

显著提高了 38.50% 和 23.74% ($P < 0.05$), 而 NPKS 与 NPK 处理没有显著差异.



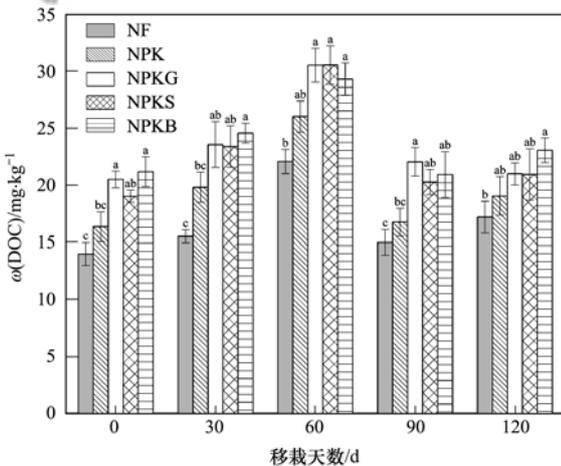
各时期不同小写字母表示不同处理之间在 $P < 0.05$ 水平有显著差异

图 2 生育期不同处理根系生物量的变化

Fig. 2 Dynamics of root biomass under different treatments during the growth period

2.2.2 生育期不同处理土壤可溶性有机碳的变化

烤烟生育期各处理土壤可溶性有机碳 (DOC) 含量呈先升高后降低的趋势, 均在移栽后 60 d 达到峰值 (图 3). 添加有机物料处理 DOC 含量显著高于 NF 和 NPK 处理 ($P < 0.05$), 但 3 种有机物料处理间 DOC 含量无明显差异. 整个生育期平均表现为: NPKB ($23.81 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) > NPKG ($23.53 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) > NPKS ($22.84 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) > NPK ($19.60 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) > NF ($16.76 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$).



各时期不同小写字母表示不同处理之间在 $P < 0.05$ 水平有显著差异

图 3 生育期不同处理土壤可溶性有机碳的变化

Fig. 3 Dynamics of soil soluble organic carbon under different treatments during the growth period

2.3 不同处理土壤呼吸的动态变化

2.3.1 不同处理土壤总呼吸的动态变化

从图 4(a) 可以看出, 烤烟生育期内, 各处理 R_s

速率呈现相似的季节变化且与土壤温度的变化趋势基本一致, 整体表现为先升高后降低. 移栽时各处理 R_s 速率最低, NF、NPK、NPKG、NPKS 和 NPKB 处理分别为 0.57 、 0.53 、 1.15 、 0.73 和 $1.20 \mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$, 随后逐渐升高并在 7 月末达到峰值, 各处理 R_s 速率最大值分别为 4.80 、 5.40 、 6.00 、 5.59 和 $6.08 \mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$. 在整个烤烟生长季中, 各处理 R_s 均值大小依次为: NPKG > NPKS > NPKB > NPK > NF. 与 NF 相比, NPK 处理 R_s 平均速率显著提高了 19.64% ($P < 0.05$), NPKG、NPKS 和 NPKB 处理 R_s 平均速率较 NPK 处理分别显著提高了 20.08%、10.32% 和 9.88% ($P < 0.05$).

2.3.2 不同处理土壤异养呼吸的动态变化

各处理 R_h 速率波动明显且变化趋势基本一致,

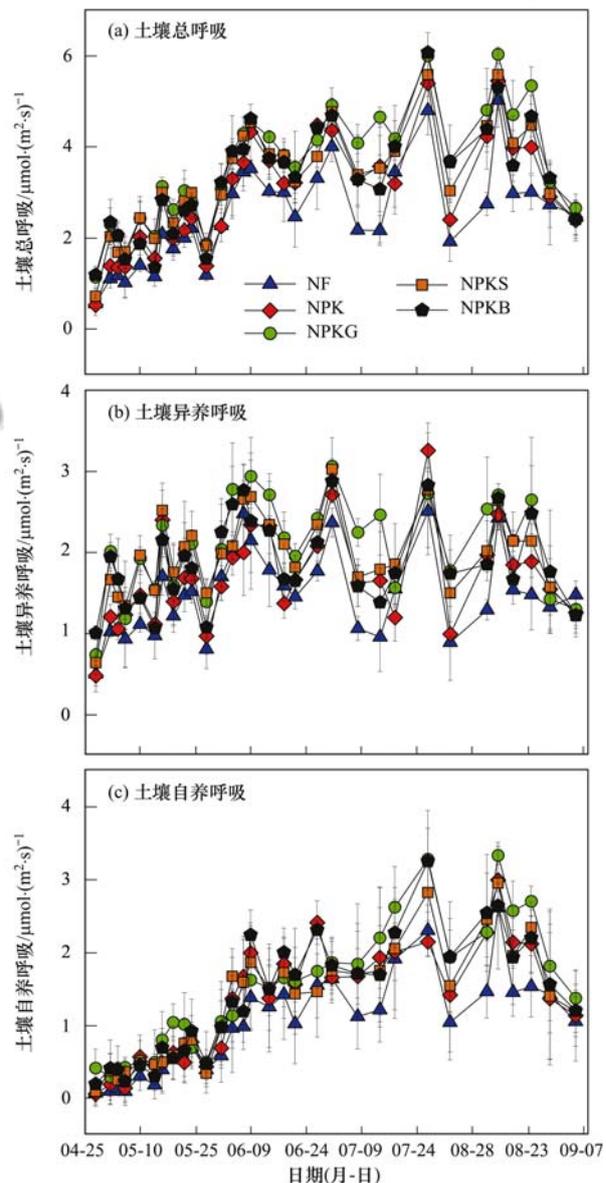


图 4 不同处理植烟土壤呼吸及其组分的动态变化

Fig. 4 Dynamics of soil respiration and its components under different treatments

分别在6月初、7月初和7月末出现3个峰值[图4(b)]. 烤烟生育期内,各处理间 R_h 平均速率大小依次为: NPKG > NPKS > NPKB > NPK > NF, NPK 处理较 NF 提高了 13.69% ($P > 0.05$), NPKG、NPKS 和 NPKB 处理 R_h 平均速率较 NPK 分别显著提高了 24.21%、16.51% 和 11.68% ($P < 0.05$).

2.3.3 不同处理土壤自养呼吸的动态变化

各处理 R_a 速率呈现相似的季节变化,随着生育期的推进,土壤自养呼吸速率整体为先升高后降低的趋势[图4(c)]. 方差分析结果表明(表2),各处理间 R_a 平均速率存在显著差异,大小依次为: NPKG > NPKB > NPKS > NPK > NF. NPK 处理 R_a 平均速率较 NF 显著提高了 28.41% ($P < 0.05$). 与 NPK 处理相比, NPKG 处理 R_a 平均速率显著提高了 15.12% ($P < 0.05$), NPKS 和 NPKB 处理对 R_a 没有显著影响 ($P > 0.05$). 整个生育期各处理烤烟根呼吸所占总呼吸比例范围为 40.26% ~ 43.43%, 处理间没有显著差异 ($P > 0.05$).

2.4 土壤呼吸与环境因子的关系

2.4.1 土壤呼吸及其组分与 10 cm 土壤温度和含水率的关系

由表3可知,各处理土壤呼吸及其组分均与 10 cm 土壤温度呈极显著指数回归关系 ($P < 0.01$), 10 cm 土壤温度分别解释 R_s 的 65% ~ 76%、 R_h 的 48% ~ 60% 和 R_a 的 44% ~ 70%. 各处理 R_s (NF 除外), NPK、NPKG 和 NPKS 处理的 R_h 以及 NPK 和 NPKB 处理的 R_a 与 10 cm 土壤含水率呈显著抛物线回归关系 ($P < 0.05$), 10 cm 土壤含水率能解释 R_s 的 16% ~ 30%、 R_h 的 10% ~ 33% 和 R_a 的 13% ~ 32%. 水热双因子模型能解释土壤呼吸及其组分变化的 50% ~ 80%, 且均达到极显著水平 ($P < 0.01$), 其中各处理 R_s 对水热因子的响应程度最高.

Q_{10} 为土壤呼吸的温度敏感系数, 表示土壤呼吸对土壤温度的敏感程度. 本试验各处理 Q_{10} 均表现为: $R_a > R_s > R_h$. 其中 R_s 的 Q_{10} 以 NF 处理最大, R_h 的 Q_{10} 以 NPK 处理最大, NPKS 处理最小.

表2 不同处理根系呼吸对土壤总呼吸的贡献¹⁾

Table 2 Contribution of root respiration to total soil respiration under different treatments

处理	R_s / $\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$	R_h / $\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$	R_a / $\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$	$R_a/R_s/\%$
NF	2.49 ± 0.34d	1.49 ± 0.22d	1.01 ± 0.35e	40.47
NPK	2.98 ± 0.37c	1.69 ± 0.29c	1.30 ± 0.40b	43.43
NPKG	3.58 ± 0.36a	2.10 ± 0.29a	1.49 ± 0.39a	41.64
NPKS	3.29 ± 0.35ab	1.97 ± 0.26ab	1.33 ± 0.35ab	40.26
NPKB	3.28 ± 0.36b	1.89 ± 0.28b	1.39 ± 0.41ab	42.50

1) 同列不同大小写字母表示不同处理间在 $P < 0.05$ 水平有显著差异

表3 土壤呼吸及其组分与 10 cm 土壤温度和含水率的回归关系 ($n = 31$)

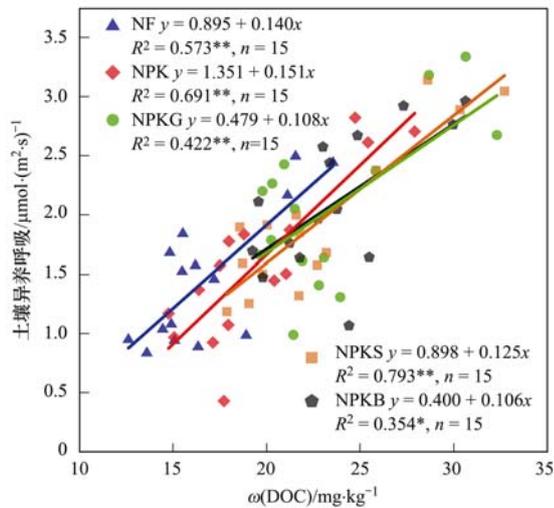
Table 3 Regression relationship between soil respiration and its components and 10 cm soil temperature and moisture content

处理	10 cm 土壤温度				10 cm 土壤水分			双因素		
	拟合方程	R^2	P 值	Q_{10}	拟合方程	R^2	P 值	拟合方程	R^2	P 值
NF	$R_s = 0.094e^{0.128T}$	0.665	0.000	3.60	$R_s = -39.499W^2 + 24.159W - 0.701$	0.161	0.086	$R_s = 0.101e^{0.127T} - W^{0.029}$	0.654	0.000
	$R_h = 0.138e^{0.093T}$	0.476	0.000	2.53	$R_h = -21.511W^2 + 11.857W + 0.034$	0.095	0.247	$R_h = 0.095e^{0.100T} - W^{-0.128}$	0.507	0.000
	$R_a = 0.011e^{0.175T}$	0.554	0.000	5.75	$R_a = -17.830W^2 + 12.234W + 0.729$	0.189	0.053	$R_a = 0.020e^{0.168T} - W^{0.240}$	0.550	0.000
NPK	$R_s = 0.126e^{0.121T}$	0.705	0.000	3.35	$R_s = -60.958W^2 + 37.115W - 1.927$	0.298	0.007	$R_s = 0.207e^{0.116T} - W^{0.246}$	0.741	0.000
	$R_h = 0.133e^{0.099T}$	0.604	0.000	2.69	$R_h = -38.711W^2 + 20.454W - 0.742$	0.222	0.030	$R_h = 0.098e^{0.104T} - W^{-0.107}$	0.628	0.000
	$R_a = 0.020e^{0.159T}$	0.578	0.000	4.90	$R_a = -22.209W^2 + 16.653W + 1.186$	0.324	0.004	$R_a = 0.060e^{0.148T} - W^{0.550}$	0.658	0.000
NPKG	$R_s = 0.268e^{0.099T}$	0.698	0.000	2.69	$R_s = -55.907W^2 + 33.887W - 0.832$	0.253	0.017	$R_s = 0.397e^{0.094T} - W^{0.177}$	0.717	0.000
	$R_h = 0.364e^{0.067T}$	0.515	0.000	1.95	$R_h = -38.297W^2 + 21.519W - 0.566$	0.334	0.003	$R_h = 0.409e^{0.073T} - W^{0.155}$	0.640	0.000
	$R_a = 0.050e^{0.129T}$	0.448	0.000	3.63	$R_a = -17.699W^2 + 12.407W + 0.217$	0.134	0.133	$R_a = 0.074e^{0.125T} - W^{0.177}$	0.439	0.000
NPKS	$R_s = 0.190e^{0.110T}$	0.757	0.000	3.00	$R_s = -56.290W^2 + 33.922W - 1.206$	0.226	0.028	$R_s = 0.260e^{0.105T} - W^{0.123}$	0.761	0.000
	$R_h = 0.420e^{0.060T}$	0.495	0.000	1.82	$R_h = -45.373W^2 + 23.962W - 0.911$	0.282	0.010	$R_h = 0.498e^{0.057T} - W^{0.068}$	0.518	0.000
	$R_a = 0.013e^{0.178T}$	0.650	0.000	5.93	$R_a = -11.039W^2 + 10.024W + 0.303$	0.175	0.068	$R_a = 0.020e^{0.170T} - W^{0.146}$	0.642	0.000
NPKB	$R_s = 0.142e^{0.123T}$	0.752	0.000	3.42	$R_s = -37.180W^2 + 25.450W - 0.370$	0.226	0.028	$R_s = 0.188e^{0.189T} - W^{0.109}$	0.751	0.000
	$R_h = 0.263e^{0.077T}$	0.475	0.000	2.16	$R_h = -22.262W^2 + 12.188W + 0.383$	0.096	0.243	$R_h = 0.211e^{0.081T} - W^{-0.080}$	0.500	0.000
	$R_a = 0.009e^{0.194T}$	0.676	0.000	6.96	$R_a = -14.825W^2 + 13.219W + 0.749$	0.280	0.010	$R_a = 0.024e^{0.180T} - W^{0.372}$	0.698	0.000

2.4.2 土壤异养呼吸与可溶性有机碳的关系

各处理土壤异养呼吸与 DOC 含量呈显著线

性回归关系(图5), 各处理 R^2 值为 0.422 ~ 0.793.



** 表示相关性在 $P < 0.01$ 水平上极显著,
 * 表示相关性在 $P < 0.05$ 水平上显著,下同

图 5 土壤异养呼吸与土壤可溶性有机碳的关系

Fig. 5 Relationship between soil heterotrophic respiration and soil soluble organic carbon

2.4.3 土壤自养呼吸与根系生物量的关系

通过控制土壤温度和水分的的影响对土壤自养呼吸和根系生物量进行偏相关分析(表 4),结果表明:各处理土壤自养呼吸与根系生物量均呈显著正相关($P < 0.05$).进一步对各处理土壤自养呼吸与根系生物量进行回归分析(图 6),发现两者呈极显著的抛物线型关系($P < 0.01$),各处理的 R^2 值为 0.327

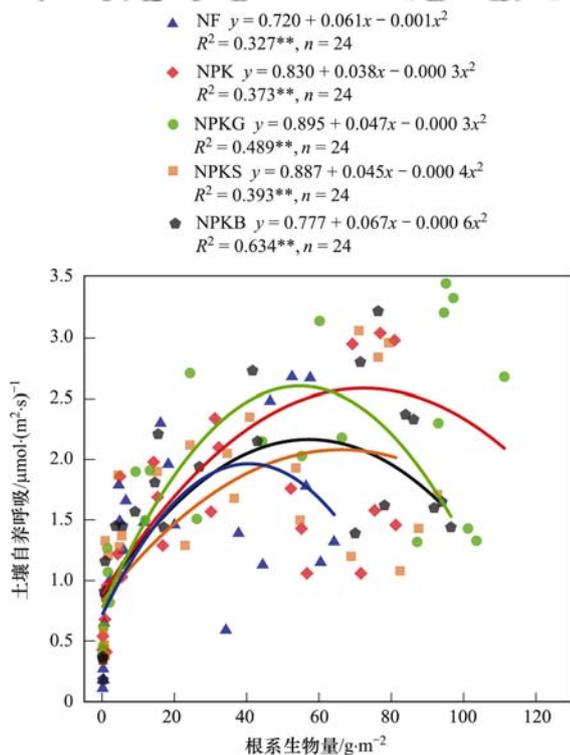


图 6 土壤自养呼吸与根系生物量的关系

Fig. 6 Relationship between soil autotrophic respiration and root biomass

表 4 土壤自养呼吸与根系生物量的偏相关分析^{[1)}

Table 4 Partial correlation analysis between soil autotrophic

respiration and root biomass			
处理	控制变量	变量	偏相关系数
NF	—	RB _{NF}	0.528 ^{**}
	T_{NF} 和 W_{NF}	RB _{NF}	0.618 ^{**}
NPK	—	RB _{NPK}	0.619 ^{**}
	T_{NPK} 和 W_{NPK}	RB _{NPK}	0.565 ^{**}
NPKG	—	RB _{NPKG}	0.637 ^{**}
	T_{NPKG} 和 W_{NPKG}	RB _{NPKG}	0.659 ^{**}
NPKS	—	RB _{NPKS}	0.541 ^{**}
	T_{NPKS} 和 W_{NPKS}	RB _{NPKS}	0.423 [*]
NPKB	—	RB _{NPKB}	0.564 ^{**}
	T_{NPKB} 和 W_{NPKB}	RB _{NPKB}	0.494 [*]

1) T 表示土壤温度, W 表示土壤水分, RB 表示根系生物量; “—” 表示没有控制变量; ** 表示相关性在 $P < 0.01$ 水平上极显著, * 表示相关性在 $P < 0.05$ 水平上显著

~0.634, 其中 NPKB 处理拟合程度最好。

3 讨论

3.1 植烟土壤呼吸与环境因子的关系

土壤温度是土壤呼吸的关键影响因子,其主要通过影响土壤微生物、土壤酶活性以及根系活力进而影响土壤呼吸速率^[32,33].在适宜的温度范围内,升高温度会提高土壤酶活性,从而促进土壤呼吸;但是,当温度超出适宜范围则会抑制土壤呼吸^[34].10 cm 土壤温度与土壤呼吸及其组分均呈极显著指数关系,说明在本试验中 10 cm 土壤温度的变化处于适宜的温度范围内.土壤温度能解释土壤呼吸速率变化的 45% ~ 76%,这与已有的研究结果一致^[35-37]. Q_{10} 表示土壤呼吸的温度敏感性,农田生态系统的总呼吸 Q_{10} 值范围在 1.28 ~ 4.75 之间^[38],本试验不同处理下总呼吸 Q_{10} 值范围为 2.69 ~ 3.60,处于上述研究范围内.其中不施肥处理的总呼吸 Q_{10} 最大,即施肥降低了土壤呼吸对温度的敏感性,这与吴瑞娟等^[37]的研究结果一致. Q_{10} 受底物质量、土壤生物、温度和水分等多种因素的交互作用影响^[39].本研究中不同处理土壤温度和水分均无显著差异,因此推测添加有机物料主要通过改变植烟土壤微生物群落结构、根系活性、底物质量以及供应能力而导致总呼吸 Q_{10} 下降.与单施化肥处理相比,添加有机物料处理均降低了异养呼吸 Q_{10} .可能是因为黑麦草和秸秆的易分解碳组分含量高,新鲜有机质的成分简单,转化周期短^[40,41];生物炭可能是通过降低土壤惰性有机碳库的温度敏感性和改变土壤微生物群落结构导致 Q_{10} 降低^[42].本试验中,各处理 R_a 的 Q_{10} 值均高于 R_h ,这与已有的研究结果一致^[43-45],即根系呼吸的 Q_{10} 一般要高于土壤异养

呼吸。

土壤水分与土壤呼吸的关系较为复杂且存在不确定性。本研究通过一元二次函数模型对 10 cm 土壤含水率和土壤呼吸及其组分进行拟合, 结果发现, 与土壤温度相比, 土壤水分对土壤呼吸变化的解释程度较小(10%~33%), 说明土壤温度是影响植烟土壤呼吸季节变化的主要影响因素。车升国等^[46]的研究发现, 当土壤含水率较小时, 提高土壤水分含量能促进土壤呼吸, 但当超过某个阈值时反而会抑制呼吸作用。选取本研究各处理呼吸组分与土壤水分拟合决定系数较高的方程进行求导, 得出植烟土壤 R_s 、 R_h 和 R_a 的水分响应阈值分别为 30.44%、37.49% 和 28.09%。植烟土壤呼吸及其组分与土壤水热因子的双因素拟合模型能解释土壤呼吸变化的 50%~80%, 说明土壤呼吸及其组分均受到土壤温度和水分共同调控。

DOC 属于土壤活性有机碳组分的一种, 是土壤微生物生长的速效碳源, 其含量的高低与土壤微生物活性密切相关, 进而影响 CO_2 排放^[47,48]。本研究中 R_h 速率与 DOC 含量呈显著的线性回归关系, 这与朱旭丹^[49]和高会议等^[50]的研究结果一致。

除土壤微生物的呼吸作用外, 植物根系也是土壤呼吸的主要参与者, 根系的生物量和根系活性决定着 R_a 速率强弱^[51]。本研究通过控制土壤温度和水分进行偏相关分析发现, 根系生物量与 R_a 存在显著正相关关系, 回归分析呈显著抛物线型关系, 这与戴衍晨等^[52]的研究结果一致。其原因可能是在烤烟生育期前期根系的生长发育促进了 R_a , 然而虽然后期根系生物量大, 但是后期烤烟成熟采收造成叶面积系数下降, 根系呼吸获得的光合产物减少, 根系活性低; 此外, 生育期后期土壤温度缓慢下降也会影响根系的代谢活动, 从而使 R_a 速率下降^[33,53]。

3.2 添加不同有机物料对植烟土壤呼吸的影响

在烤烟还苗期和伸根期(5月至6月中旬), 由于土壤温度较低、烟株根系较小, 因而各处理土壤总呼吸速率较低, 随着环境因子的季节变化和生育期的推进, 土壤温度逐渐升高, 烟株根系不断发育, 土壤总呼吸速率随之逐渐升高并在烤烟旺长期结束时(8月初)达到峰值; 在烟叶成熟期(8月下旬), 伴随着土壤温度缓慢降低和烟叶采收导致叶面积系数急剧变小, 根系活力降低, 各处理土壤总呼吸速率随之缓慢降低。

本研究中, 与不施肥处理相比, 单施化肥处理显著提高了 R_s 速率, 因为施肥可以增加土壤呼吸的底物, 还可以促进作物根系生长及其分泌物增多, 促进土壤根系和微生物呼吸作用^[54]。添加有机物料处理

较单施化肥处理显著提高了 R_s 速率, 这与严俊霞等^[55]的研究结果一致。土壤呼吸是土壤微生物呼吸和根系自养呼吸共同作用的结果, 本试验中秸秆还田和添加生物炭主要通过提高土壤 DOC 含量, 为土壤微生物提供了更多的碳源, 从而促进 R_h 来显著提高 R_s 速率; 而翻压绿肥既显著提高了土壤 DOC 含量, 促进了 R_h , 同时也显著增加了根系干物质积累量, 促进根系生长, 进而提高了 R_a 速率。本研究中 3 种有机物料处理 R_s 速率大小依次为: 黑麦草 > 秸秆 > 生物炭, 这可能是因为土壤微生物对不同有机物料响应情况不同, 一般情况下, C/N 比小的物质更容易被降解^[56]。3 种有机物料相比, 黑麦草的 C/N 最小(20.56), 秸秆次之(61.75), 所以黑麦草翻压还田后更容易被微生物分解利用, R_s 速率最高; 而生物炭处理虽然携带碳量高, 但是主要以惰性碳为主, 矿化较难, 故 R_s 最低。但是与单施化肥相比, 生物炭显著提高了 R_s 速率, 原因可能是其本身就含有一定比例的易分解态碳, 施入土壤后可以直接被微生物所利用^[57,58]; 另外生物炭还会产生激发效应, 促进土壤有机碳的分解^[59]。有机物料的分解具有时间效应, 今后还应持续开展植烟土壤周年 CO_2 排放的监测, 进一步探究长期不同有机物料处理烟田土壤呼吸的影响机制。

4 结论

(1) 烤烟生育期土壤呼吸呈先增加后降低趋势, 与单施化肥相比, 翻压黑麦草和秸秆还田降低了土壤总呼吸和异养呼吸的温度敏感性, 施加生物炭降低了土壤异养呼吸温度敏感性; 土壤呼吸与土壤水热因子的双因素拟合模型能解释土壤呼吸变化的 50%~80%。

(2) 添加有机物料显著提高了植烟土壤可溶性有机碳含量和根系干物质质量, 土壤异养呼吸与土壤可溶性有机碳含量呈显著线性回归关系, 土壤自养呼吸与根系生物量呈显著抛物线型关系。

(3) 与单施化肥相比, 添加有机物料处理显著提高了土壤呼吸速率。秸秆还田和添加生物炭主要通过提高土壤可溶性有机碳含量促进土壤异养呼吸而显著提高土壤总呼吸速率。翻压黑麦草提高了土壤异养呼吸速率的同时也促进了根系生长发育, 提高了土壤自养呼吸速率, 并最终提高土壤总呼吸速率。

参考文献:

- [1] Lal R, Follett R F, Kimble J, et al. Managing U. S. cropland to sequester carbon in soil [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1999, 54(1): 374-381.
- [2] 陈泮勤. 地球系统碳循环[M]. 北京: 科学出版社, 2004.

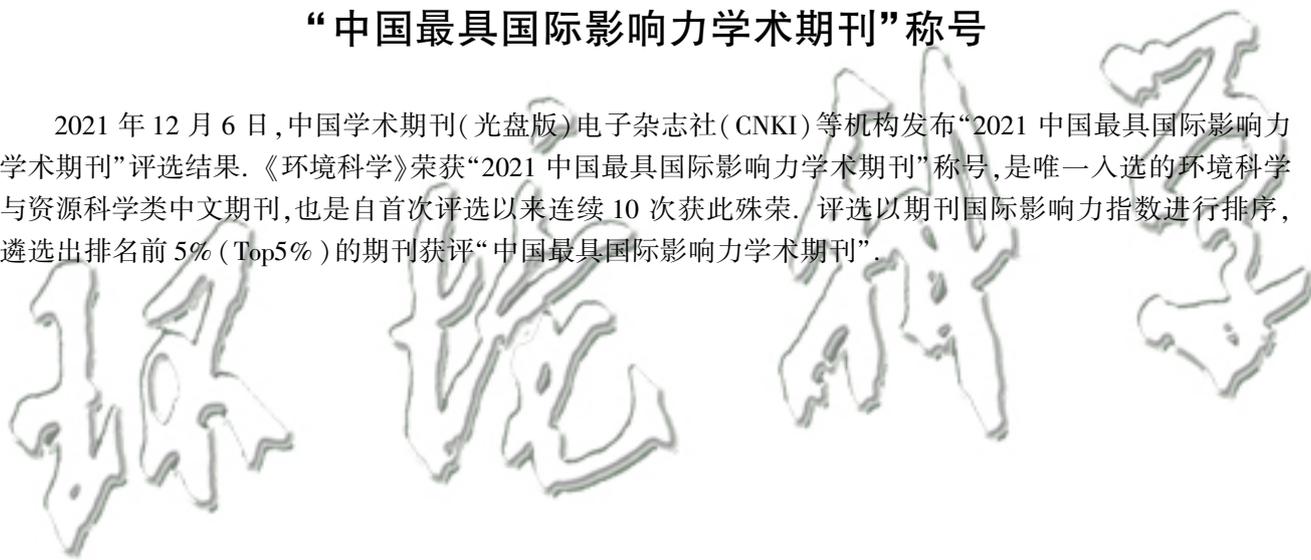
- [3] Dixon R K, Solomon A M, Brown S, *et al.* Carbon pools and flux of global forest ecosystems [J]. *Science*, 1994, **263** (5144): 185-190.
- [4] Raich J W, Tufekcioglu A. Vegetation and soil respiration: correlations and controls [J]. *Biogeochemistry*, 2000, **48**(1): 71-90.
- [5] Bond-Lamberty B, Thomson A. Temperature-associated increases in the global soil respiration record [J]. *Nature*, 2010, **464** (7288): 579-582.
- [6] 陈敏鹏, 夏旭, 李银坤, 等. 土壤呼吸组分分离技术研究进展 [J]. *生态学报*, 2013, **33**(22): 7067-7077.
Chen M P, Xia X, Li Y K, *et al.* Progress on techniques for partitioning soil respiration components and their application in cropland ecosystem [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, **33**(22): 7067-7077.
- [7] 吴会军, 蔡典雄. 土壤呼吸组分测定技术与农田管理措施影响的研究进展 [J]. *中国土壤与肥料*, 2010, (6): 10-15.
Wu H J, Cai D X. A review of soil respiration fractionation and the effect of agriculture management [J]. *Soils and Fertilizers Sciences in China*, 2010, (6): 10-15.
- [8] Gower S T, Krankina O, Olson R J, *et al.* Net primary production and carbon allocation patterns of boreal forest ecosystems [J]. *Ecological Applications*, 2001, **11**(5): 1395-1411.
- [9] Kuzakov Y. Sources of CO₂ efflux from soil and review of partitioning methods [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, **38**(3): 425-448.
- [10] Gray V. Climate Change 2007: the physical science basis Summary for policymakers [J]. *Energy & Environment*, 2007, **18**(3-4): 433-440.
- [11] 潘根兴, 李恋卿, 郑聚锋, 等. 土壤碳循环研究及中国稻田土壤固碳研究的进展与问题 [J]. *土壤学报*, 2008, **45**(5): 901-914.
Pan G X, Li L Q, Zheng J F, *et al.* Perspectives on cycling and sequestration of organic carbon in paddy soils of China [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, **45**(5): 901-914.
- [12] 于贵瑞. 全球变化与陆地生态系统碳循环和碳蓄积 [M]. 北京: 气象出版社, 2003.
Yu G R. Global change, carbon cycle and storage in terrestrial ecosystem [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2003.
- [13] Lal R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change [J]. *Geoderma*, 2004, **123**(1-2): 1-22.
- [14] 刘国顺. 烟草栽培学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [15] 张翔, 黄元炯, 范艺宽. 河南植烟土壤与烤烟营养 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2009.
- [16] 王彦亭, 谢剑平, 李志宏. 中国烟草种植区划 [M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [17] 叶协锋, 杨超, 王永, 等. 翻压黑麦草对烤烟产、质量影响的研究 [J]. *中国农学通报*, 2008, **24**(12): 196-199.
Ye X F, Yang C, Wang Y, *et al.* Study of the Ryegrass application on the yield and quality of flue-cured tobacco [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2008, **24**(12): 196-199.
- [18] 韩秋静, 赵世民, 马君红, 等. 秸秆还田对洛阳植烟区黄土质褐土碳库及烟叶经济性状的影响 [J]. *烟草科技*, 2019, **52**(7): 18-26.
Han Q J, Zhao S M, Ma J H, *et al.* Effects of straw returning on carbon pool in loess-cinnamon soil and economic characteristics of tobacco leaves in Luoyang tobacco-growing areas [J]. *Tobacco Science & Technology*, 2019, **52**(7): 18-26.
- [19] 叶协锋, 周涵君, 李志鹏, 等. 生物炭类型对植烟土壤碳库及烤后烟叶质量的影响 [J]. *中国烟草学报*, 2018, **24**(1): 77-85.
Ye X F, Zhou H J, Li Z P, *et al.* Effects of biochar types on carbon pool in tobacco-planting soil and quality of flue-cured tobacco leaves [J]. *Acta Tabacaria Sinica*, 2018, **24**(1): 77-85.
- [20] Malhi S S, Nyborg M, Goddard T, *et al.* Long-term tillage, straw management and N fertilization effects on quantity and quality of organic C and N in a Black Chernozem soil [J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2011, **90**(2): 227-241.
- [21] 王维钰, 乔博, Akhtar K, 等. 免耕条件下秸秆还田对冬小麦-夏玉米轮作系统土壤呼吸及土壤水热状况的影响 [J]. *中国农业科学*, 2016, **49**(11): 2136-2152.
Wang W Y, Qiao B, Akhtar K, *et al.* Effects of Straw returning to field on soil respiration and soil water heat in winter wheat-summer maize rotation system under no tillage [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2016, **49**(11): 2136-2152.
- [22] Singh R J, Ghosh B N, Sharma N K, *et al.* Effect of seven years of nutrient supplementation through organic and inorganic sources on productivity, soil and water conservation, and soil fertility changes of maize-wheat rotation in north-western Indian Himalayas [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2017, **249**: 177-186.
- [23] Sanz-Cobena A, Garcia-Marco S, Quemada M, *et al.* Do cover crops enhance N₂O, CO₂ or CH₄ emissions from soil in Mediterranean arable systems? [J]. *Science of the Total Environment*, 2014, **466-467**: 164-174.
- [24] 王进斌. 培肥方式对旱作玉米农田土壤碳排放的影响及机制 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2019.
Wang J B. Soil carbon emission in rainfed maize field as affected by soil amendment and its underline mechanisms [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2019.
- [25] Gul S, Whalen J K, Thomas B W, *et al.* Physico-chemical properties and microbial responses in biochar-amended soils: mechanisms and future directions [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2015, **206**: 46-59.
- [26] Murray J, Keith A, Singh B. The stability of low- and high-ash biochars in acidic soils of contrasting mineralogy [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2015, **89**: 217-225.
- [27] 方明, 任天志, 赖欣, 等. 花生壳生物炭对潮土和红壤理化性质和温室气体排放的影响 [J]. *农业环境科学学报*, 2018, **37**(6): 1300-1310.
Fang M, Ren T Z, Lai X, *et al.* Effects of peanut shell biochar on physico-chemical properties and greenhouse gas emission in fluvo-aquic soil and red soil [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2018, **37**(6): 1300-1310.
- [28] Kerré B, Hernandez-Soriano M C, Smolders E. Partitioning of carbon sources among functional pools to investigate short-term priming effects of biochar in soil: a ¹³C study [J]. *Science of the Total Environment*, 2016, **547**: 30-38.
- [29] Sun J N, Wang B C, Xu G, *et al.* Effects of wheat straw biochar on carbon mineralization and guidance for large-scale soil quality improvement in the coastal wetland [J]. *Ecological Engineering*, 2014, **62**: 43-47.
- [30] Cui J, Ge T, Kuzakov Y, *et al.* Interactions between biochar and litter priming: a three-source ¹⁴C and ^δ¹³C partitioning study [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2017, **104**: 49-58.
- [31] 陈颖, 刘玉学, 陈重军, 等. 生物炭对土壤有机碳矿化的激发效应及其机理研究进展 [J]. *应用生态学报*, 2018, **29**(1): 314-320.
Chen Y, Liu Y X, Chen C J, *et al.* Priming effect of biochar on

- the mineralization of native soil organic carbon and the mechanisms; a review[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2018, **29**(1): 314-320.
- [32] 刘爽, 严昌荣, 何文清, 等. 不同耕作措施下旱地农田土壤呼吸及其影响因素[J]. *生态学报*, 2010, **30**(11): 2919-2924.
Liu S, Yan C R, He W Q, *et al.* Soil respiration and its affected factors under different tillage systems in dryland production systems[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, **30**(11): 2919-2924.
- [33] 韩广轩, 周广胜, 许振柱, 等. 玉米地土壤呼吸作用对土壤温度和生物因子协同作用的响应[J]. *植物生态学报*, 2007, **31**(3): 363-371.
Han G X, Zhou G S, Xu Z Z, *et al.* Responses of soil respiration to the coordinated effects of soil temperature and biotic factors in a maize field[J]. *Journal of Plant Ecology (Chinese Version)*, 2007, **31**(3): 363-371.
- [34] 陈全胜, 李凌浩, 韩兴国, 等. 土壤呼吸对温度升高的适应[J]. *生态学报*, 2004, **24**(11): 2649-2655.
Chen Q S, Li L H, Han X G, *et al.* Acclimatization of soil respiration to warming[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, **24**(11): 2649-2655.
- [35] 田冬, 高明, 黄容, 等. 油菜/玉米轮作农田土壤呼吸和异养呼吸对秸秆与生物炭还田的响应[J]. *环境科学*, 2017, **38**(7): 2988-2999.
Tian D, Gao M, Huang R, *et al.* Response of soil respiration and heterotrophic respiration to returning of straw and biochar in rape-Maize rotation Systems[J]. *Environmental Science*, 2017, **38**(7): 2988-2999.
- [36] 于晓娜, 周涵君, 张晓帆, 等. 基于盆栽试验的施用烟秆生物炭对植烟土壤呼吸速率的影响[J]. *烟草科技*, 2017, **50**(12): 29-37.
Yu X N, Zhou H J, Zhang X F, *et al.* Effects of tobacco stalk biochar on respiration rate of tobacco-planting soil based on pot experiment[J]. *Tobacco Science & Technology*, 2017, **50**(12): 29-37.
- [37] 吴瑞娟, 王迎春, 朱平, 等. 长期施肥对东北中部春玉米农田土壤呼吸的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2018, **24**(1): 44-52.
Wu R J, Wang Y C, Zhu P, *et al.* Effects of long-term fertilization on soil respiration in spring maize field in the central part of northeast China [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2018, **24**(1): 44-52.
- [38] Zheng Z M, Yu G R, Fu Y L, *et al.* Temperature sensitivity of soil respiration is affected by prevailing climatic conditions and soil organic carbon content: a trans-China based case study[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, **41**(7): 1531-1540.
- [39] 杨庆朋, 徐明, 刘洪升, 等. 土壤呼吸温度敏感性的影响因素和不确定性[J]. *生态学报*, 2011, **31**(8): 2301-2311.
Yang Q P, Xu M, Liu H S, *et al.* Impact factors and uncertainties of the temperature sensitivity of soil respiration[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, **31**(8): 2301-2311.
- [40] Leifeld J, Fuhrer J. The temperature response of CO₂ production from bulk soils and soil fractions is related to soil organic matter quality[J]. *Biogeochemistry*, 2005, **75**(3): 433-453.
- [41] Knorr W, Prentice I C, House J I, *et al.* Long-term sensitivity of soil carbon turnover to warming[J]. *Nature*, 2005, **433**(7023): 298-301.
- [42] 曹坤坤, 张沙沙, 胡学玉, 等. 生物质炭影响下土壤呼吸温度敏感性及其细菌群落结构的变化[J]. *环境科学*, 2020, **41**(11): 5185-5192.
Cao K K, Zhang S S, Hu X Y, *et al.* Effect of biochar on changes of the temperature sensitivity of soil respiration and bacterial community structure [J]. *Environmental Science*, 2020, **41**(11): 5185-5192.
- [43] Schindlbacher A, Zechmeister-Boltenstern S, Kitzler B, *et al.* Experimental forest soil warming: response of autotrophic and heterotrophic soil respiration to a short-term 10°C temperature rise [J]. *Plant and Soil*, 2008, **303**(1-2): 323-330.
- [44] Zhang C P, Niu D C, Hall S J, *et al.* Effects of simulated nitrogen deposition on soil respiration components and their temperature sensitivities in a semiarid grassland[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2014, **75**: 113-123.
- [45] Epron D, Le Dantec V, Dufrene E, *et al.* Seasonal dynamics of soil carbon dioxide efflux and simulated rhizosphere respiration in a beech forest[J]. *Tree Physiology*, 2001, **21**(2-3): 145-152.
- [46] 车升国, 郭胜利, 张芳, 等. 黄土区夏闲期土壤呼吸变化特征及其影响因素[J]. *土壤学报*, 2010, **47**(6): 1159-1169.
Che S G, Guo S L, Zhang F, *et al.* Dynamics of soil respiration and its affecting factors in arid upland fields during summer fallow season on the loess plateau[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2010, **47**(6): 1159-1169.
- [47] 柳敏, 宇万太, 姜子绍, 等. 土壤活性有机碳[J]. *生态学杂志*, 2006, **25**(11): 1412-1417.
Liu M, Yu W T, Jiang Z S, *et al.* A research review on soil active organic carbon[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, **25**(11): 1412-1417.
- [48] 魏书精, 罗碧珍, 孙龙, 等. 森林生态系统土壤呼吸时空异质性及影响因子研究进展[J]. *生态环境学报*, 2013, **22**(4): 689-704.
Wei S J, Luo B J, Sun L, *et al.* Spatial and temporal heterogeneity and effect factors of soil respiration in forest ecosystems: a review[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2013, **22**(4): 689-704.
- [49] 朱旭丹. 不同更新方式对皆伐杉木林土壤温室气体排放的短期影响[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2016.
Zhu X D. Short-term effects of different regenerations after clearfelling on soil greenhouse gases in Chinese fir plantation [D]. Hangzhou: Zhejiang A&F University, 2016.
- [50] 高会议, 郭胜利, 刘文兆, 等. 黄土旱塬区冬小麦不同施肥处理的土壤呼吸及土壤碳动态[J]. *生态学报*, 2009, **29**(5): 2551-2559.
Gao H Y, Guo S L, Liu W Z, *et al.* Soil respiration and carbon fractions in winter wheat cropping system under fertilization practices in arid-highland of the Loess Plateau [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, **29**(5): 2551-2559.
- [51] Moyano F E, Kutsch W L, Schulze E D. Response of mycorrhizal, rhizosphere and soil basal respiration to temperature and photosynthesis in a barley field [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2007, **39**(4): 843-853.
- [52] 戴衍晨, 王瑞, 申国明, 等. 不同施肥条件下烤烟生长期土壤呼吸变化及其影响因素[J]. *烟草科技*, 2016, **49**(1): 8-13, 30.
Dai Y C, Wang R, Shen G M, *et al.* Variations and factors influencing soil respiration in flue-cured tobacco fields under different fertilization treatments [J]. *Tobacco Science & Technology*, 2016, **49**(1): 8-13, 30.
- [53] Yan L M, Chen S P, Huang J H, *et al.* Water regulated effects of photosynthetic substrate supply on soil respiration in a semiarid steppe[J]. *Global Change Biology*, 2011, **17**(5): 1990-2001.
- [54] 张东秋, 石培礼, 张宪洲. 土壤呼吸主要影响因素的研究进展[J]. *地球科学进展*, 2005, **20**(7): 778-785.

- Zhang D Q, Shi P L, Zhang X Z. Some advance in the main factors controlling soil respiration [J]. *Advances in Earth Science*, 2005, **20**(7): 778-785.
- [55] 严俊霞, 张媛, 焦晓燕. 施肥对高粱地土壤呼吸及其温度敏感性的影响[J]. *环境科学*, 2019, **40**(12): 5515-5523.
- Yan J X, Zhang Y, Jiao X Y. Effect of fertilization on soil respiration and its temperature sensitivity in a sorghum field[J]. *Environmental Science*, 2019, **40**(12): 5515-5523.
- [56] Thangarajan R, Bolan N S, Tian G L, *et al.* Role of organic amendment application on greenhouse gas emission from soil[J]. *Science of the Total Environment*, 2013, **465**: 72-96.
- [57] Major J, Lehmann J, Rondon M, *et al.* Fate of soil-applied black carbon: downward migration, leaching and soil respiration [J]. *Global Change Biology*, 2010, **16**(4): 1366-1379.
- [58] Spokas K A, Koskinen W C, Baker J M, *et al.* Impacts of woodchip biochar additions on greenhouse gas production and sorption/degradation of two herbicides in a Minnesota soil[J]. *Chemosphere*, 2009, **77**(4): 574-581.
- [59] Bingemann D, Ernstring N P. Femtosecond solvation dynamics determining the band shape of stimulated emission from a polar styryl dye [J]. *The Journal of Chemical Physics*, 1995, **102**(7): 2691-2700.

《环境科学》连续 10 次荣获 “中国最具国际影响力学术期刊”称号

2021 年 12 月 6 日,中国学术期刊(光盘版)电子杂志社(CNKI)等机构发布“2021 中国最具国际影响力学术期刊”评选结果。《环境科学》荣获“2021 中国最具国际影响力学术期刊”称号,是唯一入选的环境科学与资源科学类中文期刊,也是自首次评选以来连续 10 次获此殊荣。评选以期刊国际影响力指数进行排序,遴选出排名前 5%(Top5%)的期刊获评“中国最具国际影响力学术期刊”。



CONTENTS

Development Scenarios and Environmental Benefits Analysis of Future Power Generation Industry Under Two Modes in China	LIU Chun-jing, LÜ Jian-yi, ZHAO Wen-chang, <i>et al.</i>	(3375)
Forecasting of Emission Co-reduction of Greenhouse Gases and Pollutants for the Road Transport Sector in Lanzhou Based on the LEAP Model .....	..... PANG Ke, ZHANG Qian, MA Cai-yun, <i>et al.</i>	(3386)
Discussion of Air Quality Forecasting Evaluation for Cities Based on Half-level Method	WANG Xiao-yan, ZHU Li-li, XU Rong, <i>et al.</i>	(3396)
Characterization and Health Risk Assessment of Heavy Metals in PM _{2.5} in Xiamen Port	XIAO Si-han, CAI Mei-jun, LI Xiang, <i>et al.</i>	(3404)
Deposition Characteristics of Water-soluble Inorganic Nitrogen and Organic Nitrogen in Atmospheric Precipitation in the Northern Suburbs of Nanjing .....	..... ZHANG Jia-ying, YU Xing-na, ZHANG Yu-xiu, <i>et al.</i>	(3416)
Analysis of PM _{2.5} Transmission Characteristics in Main Cities of Jinzhong Basin in Winter	WANG Xiao-lan, WANG Yan, YAN Shi-ming, <i>et al.</i>	(3423)
Temporal Evolution and Source Apportionment of Black Carbon Aerosol in Ordos During Summer and Autumn 2019	KONG Xiang-chen, ZHANG Lian-xia, ZHANG Cai-yun, <i>et al.</i>	(3439)
Characteristics, Sources, and SOAP of VOCs During Winter in Jiyuan	WANG Fang, LI Li-xia, WANG Hong-guo, <i>et al.</i>	(3451)
Characteristics and Source Apportionment of Volatile Organic Compounds in August in the Chang-Zhu-Tan Urban Area	LUO Da-tong, ZHANG Qing-mei, LIU Zhan, <i>et al.</i>	(3463)
Ozone Sensitivity Analysis and Control Strategy in Shijiazhuang City in July 2019	ZHU Jia-xian, WANG Xiao-qi, OU Sheng-ju, <i>et al.</i>	(3473)
Spatiotemporal Variation and Influencing Factors of AOD in the North China Plain	GUO Lin, MENG Fei, MA Ming-liang	(3483)
Aerosol Optical Characteristics with Ground-based Measurements via Sun Photometer and Its Relationship with PM Particle Concentration in Chang'an .....	..... ZHENG Yu-rong, WANG Xu-hong, CUI Si-ying, <i>et al.</i>	(3494)
Spatio-temporal Distribution and Evolution Characteristics of Air Pollution in Beijing-Tianjin-Hebei Region Based on Long-term "Ground-Satellite" Data .....	..... WANG Yao-ting, YIN Zhen-ping, ZHENG Zuo-fang, <i>et al.</i>	(3508)
Ten-year Trend Analysis of Eutrophication Status and the Related Causes in Lake Hongze	CHEN Tian-yu, LIU Chang-qing, SHI Xiao-li, <i>et al.</i>	(3523)
Shallow Groundwater Around Plateau Lakes: Spatiotemporal Distribution of Phosphorus and Its Driving Factors	YANG Heng, LI Gui-fang, YE Yuan-hang, <i>et al.</i>	(3532)
Characteristics and Differences of Dissolved Oxygen Stratification in Different Tributaries of Three Gorges Reservoir During Impoundment Period .....	..... JI Dao-bin, FANG Jiao, LONG Liang-hong, <i>et al.</i>	(3543)
Dissolved Organic Matter Component and Source Characteristics of the Metropolitan Lakes and Reservoirs in a Typical Karst Region	NI Mao-fei, ZHOU Hui, MA Yong-mei, <i>et al.</i>	(3552)
Characteristics, Sources, and Risk Assessment of Perfluoroalkyl Substances in Surface Water and Sediment of Luoma Lake	HUANG Jia-hao, WU Wei, HUANG Tian-yin, <i>et al.</i>	(3562)
Vertical Distribution Characteristics and Influencing Factors of Phytoplankton Community Structure in Qiandao Lake	WANG Ji-yi, HUO Di, GUO Chao-xuan, <i>et al.</i>	(3575)
Chemical Forms and Spatial Distribution of Phosphorus in the Sediment of Sihe River	ZHANG Zi-han, ZHANG Xin-ru, JIA Chuan-xing, <i>et al.</i>	(3587)
Influence of Optimal Land Use Allocation on Phosphorus Loss in the Process of Rainfall and Runoff	ZHOU Hao, CHEN Fang-xin, LUO Yi-feng, <i>et al.</i>	(3597)
Distribution Characteristics and Risk Assessment of Accumulated Heavy Metals in Bioretention Systems	CHU Yang-yang, YANG Long, ZHOU Yuan, <i>et al.</i>	(3608)
Effects of Damming and Impoundment on Planktonic Microbial Community Structure and Interspecific Interaction Patterns in Different Water Depths .....	..... WANG Xun, ZHANG Jia-jia, YUAN Qiu-sheng, <i>et al.</i>	(3623)
Identification of Bacterial Flora and Metabolic Function of Sediments in Different Channels of Duliujian River Basin, Tianjin	LIU Jia-yuan, FENG Yue, YANG Xue-chun, <i>et al.</i>	(3635)
Spatiotemporal Distribution and Source Apportionment of Suspended Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Water	PENG Ke-xing, LI Rui-fei, ZHOU Yi-chen, <i>et al.</i>	(3645)
Spatial Variation and Potential Sources of Microplastics in Rivers in Tongzhou District, Beijing	MEN Cong, LI Di, ZUO Jian-e, <i>et al.</i>	(3656)
Effects of Microplastic Exposure on Crucian Growth, Liver Damage, and Gut Microbiome Composition	HU Jia-min, ZUO Jian-e, LI Jin-bo, <i>et al.</i>	(3664)
Influence of Different Types of Dewatering Agents on the Solidification Effect and Physical and Chemical Properties of Sediment	REN Jun, YIN Peng, WANG Wei-zhen, <i>et al.</i>	(3672)
Structural Characteristics of Micro-nano Particle Size Biochar and Its Adsorption Mechanism for Cd ²⁺	MA Wen-yan, PEI Peng-gang, GAO Ge, <i>et al.</i>	(3682)
Phosphorus Adsorption Characteristics of Different Biochar Types and Its Influencing Factors	LIAN Shen-hai, ZHANG Shu-nan, LIU Feng, <i>et al.</i>	(3692)
Development of Zeolite Loaded Mg-La-Fe Ternary (hydr)oxides for Treatment of Low Concentration Phosphate Wastewater	YIN Xue-jie, SONG Xiao-bao, DING Chen-man, <i>et al.</i>	(3699)
Succession and PICRUSt2-based Predicted Functional Analysis of Microbial Communities During the Sludge Bulking Occurrence and Restoration in One-stage Combined Partial Nitrification and ANAMMOX Process	LI Ya-nan, YAN Bing, ZHENG Rui, <i>et al.</i>	(3708)
Aerobic Granulation Stability and Microbial Diversity of Filamentous Bulking Sludge	GAO Chun-di, YANG Xiao-yang, OU Jia-li, <i>et al.</i>	(3718)
Dynamic Variation in Vegetation Cover and Its Influencing Factor Detection in the Yangtze River Basin from 2000 to 2020	XU Yong, ZHENG Zhi-wei, GUO Zhen-dong, <i>et al.</i>	(3730)
Enrichment and Ecological Risk Assessment of Available Phosphorus in Paddy Soil of Fujian Province Over Past 40 years	CHEN Zhong-xing, QIU Long-xia, CHEN Han-yue, <i>et al.</i>	(3741)
Effects of Land Use Change on Constitution, Stability, and C, N, P Stoichiometric Characteristics of Soil Aggregates in Southwest China Karst .....	..... HE Yu, SHENG Mao-yin, WANG Ke, <i>et al.</i>	(3752)
Heavy Metal Pollution and Health Risk Assessment of Mine Soil in Yangtze River Economic Belt	ZHANG Zhe, LU Ran, WU Si-yang, <i>et al.</i>	(3763)
Pollution Characteristics and Phytotoxicity of Heavy Metals in the Soil Around Coal Gangue Accumulation Area	SHANG Yu, SANG Nan	(3773)
Evaluation of Mercury Pollution in Soil of Different Land Use Types in Coal-fired Industrial Area	LI Qiang, YAO Wan-cheng, ZHAO Long, <i>et al.</i>	(3781)
Cadmium Enrichment and Bioavailability of Quaternary Profiles in Nansha District, Guangzhou, China	WANG Fang-ting, BAO Ke, HUANG Chang-sheng, <i>et al.</i>	(3789)
Health Risk Assessment and Environmental Benchmark of Heavy Metals in Cultivated Land in Mountainous Area of Northwest Guizhou Province .....	..... XU Meng-qi, YANG Wen-tao, YANG Li-yu, <i>et al.</i>	(3799)
Effect Factors and Model Prediction of Soil Heavy Metal Bioaccessibility	ZHANG Jia-wen, TIAN Biao, LUO Jing-jing, <i>et al.</i>	(3811)
Effect of Organic Material Amendments on Soil Respiration in Tobacco Fields of Central Henan	LU Qi-fei, YE Xie-feng, HAN Jin, <i>et al.</i>	(3825)
Methane Production Potential and Methanogenic Pathways in Paddy Soils Under Different Rice-based Cropping Systems	SHEN Wan-yu, HUANG Qiong, MA Jing, <i>et al.</i>	(3835)
Characteristics and Assembly Process of Reclaimed Soil Microbial Communities in Eastern Plain Mining Areas	MA Jing, DONG Wen-xue, ZHU Yan-feng, <i>et al.</i>	(3844)
Differences in Bacterial Community Structure in Rhizosphere Soil of Three <i>Caragana</i> Species and Its Driving Factors in a Common Garden Experiment .....	..... LI Yuan-yuan, XU Ting-ting, AI Zhe, <i>et al.</i>	(3854)
Comparison of Bacterial Community Structure and Functional Groups of Paddy Soil Aggregates Between Karst and Non-karst Areas	XIAO Xiao-yi, JIN Zhen-jiang, LENG Meng, <i>et al.</i>	(3865)
Contrasting Responses of the Microbial Community Structure and Functional Traits to Soil pH in Purple Soils	WANG Zhi-hui, JIANG Xian-jun	(3876)
Effects of Agricultural Organic Waste Incorporation on the Metabolic Capacity of Microbial Carbon Sources of Dissolved Organic Matter in Paddy Soil .....	..... XIAO Yi, LI Zheng, HUANG Rong, <i>et al.</i>	(3884)