

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第1期

Vol.34 No.1

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

长三角背景地区秋冬季节大气气态总汞含量特征研究	窦红颖,王书肖,王龙,张磊,郝吉明(1)
厦门城区大气颗粒物 PM ₁₀ 中有机酸源谱特征分析	杨冰玉,黄星星,郑桢,刘碧莲,吴水平(8)
兴隆大气气溶胶中水溶性无机离子分析	李杏茹,宋爱利,王英锋,孙颖,刘子锐,王跃思(15)
气相组分对氨吸收同步脱除模拟烟气 SO ₂ 和 NO _x 的影响	王鸿,朱天乐,王美艳(21)
麦秸全量还田下太湖地区两种典型水稻土稻季氨挥发特性比较	汪军,王德建,张刚,王远(27)
单光子/光电子在线质谱实时分析聚氯乙烯热分解/燃烧产物	陈文东,侯可勇,陈平,李芳龙,赵无垠,崔华鹏,花磊,谢园园,李海洋(34)
碱性活性炭表面特征及其吸附甲烷的研究	张梦竹,李琳,刘俊新,孙永军,李国滨(39)
夏季黄渤海表层海水中二甲亚砜(DMSO)的浓度分布	王敏,张洪海,杨桂朋(45)
2010年秋季长江口口外海域 CDOM 的三维荧光光谱-平行因子分析	闫丽红,陈学君,苏荣国,韩秀荣,张传松,石晓勇(51)
基于集合均方根滤波的太湖叶绿素 a 浓度估算与预测	李渊,李云梅,王桥,张卓,郭飞,吕恒,毕坤,黄昌春,郭宇龙(61)
基于 HJ1A-CCD 数据的高光谱影像重构研究	郭宇龙,李云梅,朱利,徐德强,李渊,檀静,周莉,刘阁(69)
重庆雪玉洞岩溶地下河地球化学敏感性研究	徐尚全,杨平恒,殷建军,毛海红,王鹏,周小萍(77)
区域点源和非点源磷入河量计算的二元统计模型	陈丁江,孙嗣畅,贾颖娜,陈佳勃,吕军(84)
秦淮河典型河段总氮总磷时空变异特征	李跃飞,夏永秋,李晓波,熊正琴,颜晓元(91)
湘江沉积物铜和汞质量基准的建立及其应用	蒋博峰,桑磊鑫,孙卫玲,郝伟,李丽,邓宝山(98)
丹江口水库迁建区土壤重金属分布及污染评价	张雷,秦延文,郑丙辉,时瑶,韩超男(108)
汾河水库周边土壤重金属含量与空间分布	李晋昌,张红,石伟(116)
黄河下游引黄灌区地下水重金属分布及健康风险评估	张妍,李发东,欧阳竹,赵广帅,李静,柳强(121)
胶州湾、套子湾及四十里湾表层沉积物中有机氯农药的含量和分布特征	刘艺凯,钟广财,唐建辉,潘晓辉,田崇国,陈颖军(129)
基于干扰梯度的钦江流域底栖动物完整性指数候选参数筛选	卢东琪,张勇,蔡德所,刘朔孺,陈燕海,王备新(137)
海洋细菌 <i>Marinobacter adhaerens</i> HY-3 分离鉴定及对中肋骨条藻的化感作用	王洪斌,陈文慧,李信书,李士虎,阎斌伦(145)
水稻秸秆浸泡液对铜绿微囊藻生理特性的影响	苏文,孔繁翔,于洋,贾育红,张民(150)
化感物质肉桂酸乙酯对蛋白核小球藻生长及生理特性的影响	高李李,郭沛涌,苏光明,魏燕芳(156)
无负压供水模式下管网水力模拟与安全评价分析	王欢欢,刘书明,姜帅,孟凡琳,白璐(163)
天然有机物的相对分子质量分布及亲疏水性对微滤膜组合工艺中膜污染的影响	胡孟柳,林洁,许光红,董秉直(169)
不同基质条件下透性处理对脱硫弧菌硫酸盐还原活性的影响	徐慧伟,张旭,李立明,郑光洁,李广贺(177)
基于零价铁的双金属体系对六氯苯还原脱氯研究	曾宪委,刘建国,聂小琴(182)
负载型 TiO ₂ 光电催化降解孔雀石绿的动力学研究	张小娜,周少奇,周晓(188)
污水厂微曝气系统工况下充氧性能测试与分析	吴媛媛,周小红,施汉昌,邱勇(194)
微气泡及其产生方式对活性污泥混合液性质的影响	刘春,马锦,张磊,张静,张明,吴根(198)
不同氮浓度冲击对颗粒污泥脱氮过程中 N ₂ O 产生量的影响	韩雪,高大文(204)
模拟电镀污泥重金属浸出液对氧化亚铁硫杆菌活性的影响	谢鑫源,孙培德,楼菊青,郭茂新,马王钢(209)
嗜麦芽窄食单胞菌对铜的吸附特性与离子交换	白洁琼,尹华,叶锦韶,彭辉,唐立楠,何宝燕,李跃鹏(217)
阴离子表面活性剂改性水滑石吸附硝基苯的特性研究	夏燕,朱润良,陶奇,刘汉阳(226)
活性氧化铝对水中磷的去除与回收研究	孟文娜,谢杰,吴德意,张振家,孔海南(231)
北京城区可吸入颗粒物分布与呼吸系统疾病相关分析	杨维,赵文吉,官兆宁,赵文慧,唐涛(237)
北京市市售鸡蛋和鸭蛋中全氟化合物的污染水平研究	齐彦杰,周珍,史亚利,孟昭福(244)
北京市场常见淡水食用鱼体内农药残留水平调查及健康风险评估	于志勇,金芬,孙景芳,原盛广,郑蓓,张文婧,安伟,杨敏(251)
多效应残差法(MERA)表征二甲亚砜-农药二元混合物毒性相互作用	霍向晨,刘树深,张晶,张瑾(257)
利用 DGGE-菌落原位杂交法分离土壤中精喹禾灵降解菌	吕欣,彭霞薇,呼庆,马安周,江泽平,魏远(263)
不同白腐真菌复配方式对产酶的影响	孟瑶,梁红,高大文(271)
不同施肥措施对土壤活性有机碳的影响	张瑞,张贵龙,姬艳艳,李刚,常泓,杨殿林(277)
垦殖对湿地土壤有机碳垂直分布及可溶性有机碳截留的影响	霍莉莉,邹元春,郭佳伟,吕宪国(283)
黄河三角洲碱蓬湿地土壤有机碳及其组分分布特征	董洪芳,于君宝,管博(288)
丘陵林地土壤酸化改良剂的集中施用-自然扩散修复技术研究	方熊,刘菊秀,尹光彩,赵亮,刘世忠,褚国伟,李义勇(293)
重度滴滴涕污染土壤低温等离子体修复条件优化研究	陈海红,骆永明,滕应,刘五星,潘澄,李振高,贾玉娟(302)
无定形 Fe(OH) ₃ 和 Fe ₃ O ₄ 共沉淀态 As 的化学提取	陈义萍,王少峰,黄永锋(308)
铝和锰对外生菌根真菌生长、养分吸收及分泌作用的影响	李华,黄建国,袁玲(315)
污泥和餐厨垃圾联合干法中温厌氧消化性能研究	段妮娜,董滨,李江华,戴翎翎,戴晓虎(321)
高比表面生物质炭的制备、表征及吸附性能	李坤权,李焯,郑正,桑大志(328)
基于情景分析的浙江沿海地区环境污染防治战略研究	田金平,陈吕军,杜鹏飞,钱易(336)
微生物全细胞传感器在重金属生物可利用度监测中的研究进展	侯启会,马安周,庄绪亮,庄国强(347)
2012 城市生态学术研讨会会议论文	
北京市城乡环境梯度下街尘中重金属污染特征	何小艳,顾培,李叙勇,赵洪涛(357)
北京市道路灰尘中污染物含量沿城乡梯度、道路密度梯度的变化特征	唐荣莉,马克明,张育新,毛齐正(364)
北京城市典型下垫面降雨径流污染初始冲刷效应分析	任玉芬,王效科,欧阳志云,侯培强(373)
洋河流域张家口段河流水质演化及驱动因子分析	虎博,王铁宇,吕永龙,杜立宇,罗维(379)
低碳交通电动汽车减排潜力及其影响因素分析	施晓清,李笑诺,杨建新(385)
北京市社区生活垃圾分类收集实效调查及其长效管理机制研究	邓俊,徐琬莹,周传斌(395)
人工湿地在应用中存在的问题及解决措施	黄锦楼,陈琴,许连煌(401)
《环境科学》征订启事(26)	《环境科学》征稿简则(68)
信息(76,144,301,400)	专辑征稿通知(394)

不同施肥措施对土壤活性有机碳的影响

张瑞^{1,2}, 张贵龙¹, 姬艳艳^{1,3}, 李刚¹, 常泓², 杨殿林^{1*}

(1. 农业部环境保护科研监测所, 天津 300191; 2. 山西农业大学生命科学学院, 太谷 030801; 3. 山东农业大学植物保护学院, 泰安 271018)

摘要: 采用田间试验, 研究了不同施肥措施下, 华北冬小麦-夏玉米轮作体系中潮土土壤活性有机碳含量及组分的变化特征。结果表明, 施肥显著增加土壤水溶性有机碳和易氧化有机碳含量, 与不施肥相比, 增加幅度分别为 24.92 ~ 38.63 mg·kg⁻¹ 和 0.94 ~ 0.58 g·kg⁻¹, 其中单施有机肥对土壤水溶性有机碳含量增加作用大于配施化肥和化肥单施, 单施有机肥或与化肥配施对土壤易氧化有机碳的提升效果优于单施化肥。有机肥或化肥单施对土壤微生物量碳没有显著促进作用, 而有机肥与化肥配施土壤微生物量碳含量分别增加 36.06% 和 20.69%; 土壤易氧化有机碳、水溶性有机碳和微生物量碳占总有机碳的比例变化范围分别为 8.41% ~ 14.83%、0.47% ~ 0.70% 和 0.89% ~ 1.20%, 施肥显著提高了土壤水溶性有机碳和易氧化有机碳比例, 不同施肥措施对水溶性有机碳的提升效应没有显著差异。有机肥与化肥配施对易氧化有机碳的比例提升作用大于有机肥或化肥单施, 同时显著增加土壤微生物量碳比例, 但有机肥或化肥单施对土壤微生物量碳比例没有显著作用。可见, 在试验地条件下, 有机肥与化肥的适当配施对于增加土壤活性有机碳含量和有效调控其关键组分具有重要作用。

关键词: 施肥措施; 土壤; 活性有机碳; 水溶性有机碳; 易氧化有机碳; 微生物量碳

中图分类号: X144; X592 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3301(2013)01-0277-06

Effects of Different Fertilizer Application on Soil Active Organic Carbon

ZHANG Rui^{1,2}, ZHANG Gui-long¹, JI Yan-yan^{1,3}, LI Gang¹, CHANG Hong², YANG Dian-lin¹

(1. Agro-Environmental Protection Institute, Ministry of Agriculture, Tianjin 300191, China; 2. School of Life Science, Shanxi Agriculture University, Taigu 030801, China; 3. Plant Protection College, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China)

Abstract: The variation characteristics of the content and components of soil active organic carbon under different fertilizer application were investigated in samples of calcareous fluvo-aquic soil from a field experiment growing winter wheat and summer maize in rotation in the North China Plain. The results showed that RF (recommended fertilization), CF (conventional fertilization) and NPK (mineral fertilizer alone) significantly increased the content of soil dissolved organic carbon and easily oxidized organic carbon by 24.92-38.63 mg·kg⁻¹ and 0.94-0.58 mg·kg⁻¹ respectively compared to CK (unfertilized control). The soil dissolved organic carbon content under OM (organic manure) increased greater than those under NPK and single fertilization, soil easily oxidized organic carbon content under OM and NPK increased greater than that under single chemical fertilization. OM and NPK showed no significant role in promoting the soil microbial biomass carbon, but combined application of OM and NPK significantly increased the soil microbial biomass carbon content by 36.06% and 20.69%, respectively. Soil easily oxidized organic carbon, dissolved organic carbon and microbial biomass carbon accounted for 8.41% - 14.83%, 0.47% - 0.70% and 0.89% - 1.20% of the total organic carbon (TOC), respectively. According to the results, the fertilizer application significantly increased the proportion of soil dissolved organic carbon and easily oxidized organic carbon, but there was no significant difference in the increasing extent of dissolved organic carbon. The RF and CF increased the proportion of soil easily oxidized organic carbon greater than OM or NPK, and significantly increased the proportion of microbial biomass carbon. OM or RF had no significant effect on the proportion of microbial biomass carbon. Therefore, in the field experiment, appropriate application of organic manure and chemical fertilizers played an important role for the increase of soil active organic carbon content and the effective control of its key components.

Key words: fertilizer application scheme; soil; active organic carbon; DOC; EOC; MBC

活性有机碳是土壤中有效性较高、易被土壤微生物分解矿化的有机碳^[1], 参与土壤生物化学过程, 影响土壤化学物质的溶解、吸附、迁移等行为^[2], 与土壤养分流和内在生产力密切相关^[3], 能够在土壤总有机碳变化之前反映土壤微小的变化^[4]。施肥对于土壤碳(C)的可矿化量, 微生物C、氮(N)含量及微生物活性具有重要影响^[1]。研究不同施肥措施下土壤活性有机碳的响应规律, 对于早

期揭示养分管理对土壤有机碳库的影响具有积极意义。土壤活性有机碳包括了众多游离度较高的有机质, 如植物残茬、根类物质、真菌菌丝、微生物量及其渗出物如多糖等^[5], 依据提取方法, 土壤活性

收稿日期: 2012-03-27; 修订日期: 2012-05-05

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(2012ZL007)

作者简介: 张瑞(1984~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为生物学及土壤环境, E-mail: zr01013@sina.com

* 通讯联系人, E-mail: dlyang@caas.net.cn

有机碳常用易氧化态碳、水溶性碳和微生物量碳等来表征^[6]。多数研究表明,长期施用有机肥,能够提高土壤活性有机碳含量^[7~9]。这主要是施用有机肥为土壤微生物提供了碳源^[10],加速了土壤生物活动,促进了土壤有机质形成的结果^[11]。目前,施用化肥对土壤活性有机碳的影响没有统一定论,有研究认为施用化肥加速了土壤有机质分解,降低土壤活性有机质含量^[12]。而另有研究认为施用化肥,增加植物残体或根系带入的有机质,能够提高土壤活性有机碳含量^[13],另有研究认为,施用化肥条件下,土壤活性有机碳库保持稳定或小幅波动^[14]。此外,肥料结构、投入量和施入时间^[15]等均可以通过不同途径影响土壤有机碳,彼此之间也存在复杂的关联性。而多数研究者注重的是长期施肥与土壤有机碳的互助关系,而较少关注短期施肥尤其是当季施肥对土壤有机碳的影响。因此,本研究拟结合华北农区生产实际,分析玉米生长季单施有机肥、有机无机不同配施(基于测土配方、基于农户习惯)和

单施化肥等4种施肥措施下土壤活性有机碳含量及其组分变化趋势,以期探索当季施肥对土壤活性有机碳库的影响机制,为及早优化农田土壤碳库管理指数提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2010年6~10月在中国农业科学院武清农业生态环境野外科学观测试验站内进行,地理位置为北纬39°21',东经117°12',海拔6.3 m,属于暖温带半湿润大陆性气候。年平均气温在11.4~12.9℃。7月气温最高,平均在26~27℃以上,1月气温最低,平均在3~5℃,年平均无霜期为196~246 d,年降水量520~660 mm。土壤类型为潮土,成土母质为河流冲积物,剖面质地匀。玉米于2010年6月29日播种,土壤样品采于2010年10月11日,供试作物为玉米(丹玉22),土壤基本化学性质见表1。

表1 土壤基本化学性质

全碳 /g·kg ⁻¹	全氮 /g·kg ⁻¹	全磷 /g·kg ⁻¹	硝态氮 /mg·kg ⁻¹	铵态氮 /mg·kg ⁻¹	速效磷 /mg·kg ⁻¹	速效钾 /mg·kg ⁻¹	pH 值
10.83	1.18	0.72	19.95	5.06	18.6	50.67	7.58

1.2 试验设计

试验采取完全随机区组设计,设不施肥(CK)、单施有机肥(OM)、基于测土配方有机无机配施(RF)、基于农户习惯有机无机配施(CF)和单施化肥(NPK)这5个处理,其中RF和NPK两处理氮投入量相等,RF、CF、NPK这3处理磷钾养分投入量相等。具体施肥量见表2,每个处理3次重复,小区面积为400 m²(40 m×10 m),小区间由50 cm走道间隔。有机肥(干重)施用量为15 t·hm⁻²,由牛粪和鸡粪混合堆腐而成,有机碳含量18.17%,总氮含量0.69%,P₂O₅含量0.65%,K₂O含量0.38%。氮肥为尿素,含N量为46.4%,磷肥为过磷酸钙,P₂O₅含量为12%,钾肥为硫酸钾,K₂O含量50%。有机肥和磷钾肥做基肥在整地前施入,氮肥60%做基

肥,40%在玉米小喇叭口期做追肥施入。田间管理同一般大田生产。

1.3 测定方法

1.3.1 土壤基本理化性状

玉米种植前后,分别在试验小区内按“S”分布取样点,用土钻采取0~20 cm土壤,装入洁净的自封袋,迅速冷冻后带回实验室测定。土壤pH值用pH计测定(水土质量比为2.5:1)。土壤有机质采用重铬酸钾容量法-外加热法^[16]。土壤全氮采用半微量凯氏法;土壤全磷采用碳酸钠熔融-钼锑抗比色法;速效磷采用Olsen法;速效钾采用NH₄OAc浸提-火焰光度计法。

1.3.2 土壤活性有机碳

水溶性有机碳的测定方法如下:称取10 g新鲜土样于50 mL试管中,加50 mL去离子水配制成混合溶液,振荡1 h后将溶液用滤纸过滤,然后用0.22 μm滤膜抽滤离心(4 500 r·min⁻¹)取上清液用TOC (Analytikjena multi N/C 3100)测定待测液中的总有机碳即为DOC。

易氧化有机碳(EOC)采用333 mmol·L⁻¹高锰酸钾氧化法测定^[17,18]。称取过0.15 mm筛且约含

表2 各处理施肥量

处理	有机肥(干) /t·hm ⁻²	N /kg·hm ⁻²	P ₂ O ₅ /kg·hm ⁻²	K ₂ O /kg·hm ⁻²
CK	0	0	0	0
OM	15	0	0	0
RF	15	92.0	18.0	15.0
CF	15	287.5	18.0	15.0
NPK	0	195.5	115.5	72.0

有 15 mg 碳的自然风干土, 装入 100 mL 塑料瓶内, 加入 25 mL $333 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 高锰酸钾溶液, 密封瓶口, 以 $25 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 振荡 1 h, 同时做对照 (不含土样). 振荡后的样品以 $2000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 离心 5 min, 取上清液用去离子水按 1:250 稀释, 上清液在分光光度计上比色 (565 nm), 根据消耗的 KMnO_4 量计算易氧化有机碳含量.

土壤微生物量碳用氯仿熏蒸- K_2SO_4 浸提法^[19]. 称取 20 g 新鲜土样置入 100 mL 塑料离心管中, 加入 50 mL $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ K_2SO_4 溶液在 25°C 下以 $300 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 振荡 30 min, 在 $3000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 离心 5 min, 取上清液过滤后做对照. 另称取 20 g 新鲜土样于 25 mL 小烧杯中, 置于真空干燥器内, 同时放入一支盛有 50 mL 氯仿的小烧杯, 密封干燥器抽真空至氯仿沸腾 1~2 min, 将干燥器置于 25°C 培养箱 24 h 后, 抽真空 15~30 min, 除尽土壤吸附的氯仿, 将土样转至 100 mL 塑料离心管中, 重复对照制取过程 (振荡、离心、过滤), 用 TOC 测定提取液中有机碳含量.

1.4 数据统计及分析

结果的统计分析采用 Excel 2003, 多重比较采用 Duncan 氏新复极差法^[20].

2 结果与分析

2.1 土壤水溶性有机碳 (DOC)

施肥能显著提高土壤 DOC 含量 (图 1), 与不施肥 (CK) 相比, 施肥处理土壤 DOC 含量增加 $24.91 \sim 38.63 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. 其中, 单施有机肥 (OM) 和单施化肥土壤 DOC 含量分别增加 61.11% 和 39.86%. 进一步分析有机肥、化肥及不同用氮量对土壤 DOC 的影响发现, OM 措施下土壤 DOC 含量均高于其它

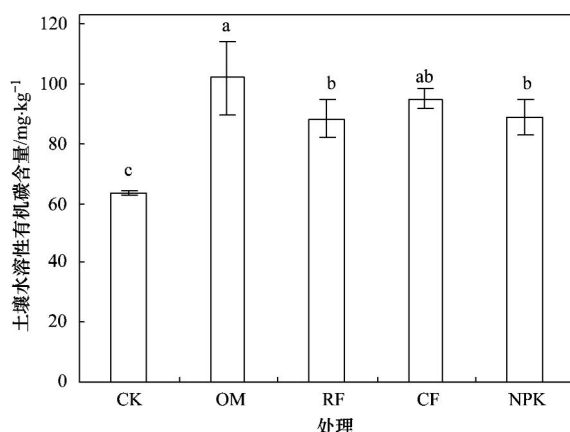


图 1 不同施肥措施下土壤水溶性有机碳含量的变化

Fig. 1 Variation of soil DOC content in different fertilizer application schemes

施肥处理, 显示施有机肥对提高土壤 DOC 的含量有利, 化肥的配施并不益于土壤 DOC 的提升; RF 和 NPK 相比, 其含量略低, 但差异并不显著, 这说明在等氮量条件下, 有机肥与化肥配施对 DOC 含量提升作用并不优于化肥单施; RF 和 CF 两种施肥措施下土壤 DOC 的含量差异并不显著, 表明在施等量有机肥条件下, 化肥氮的增施对土壤 DOC 含量影响作用不突出.

2.2 土壤易氧化有机碳

类似于土壤 DOC, 施肥也能显著提高土壤 EOC 含量 (图 2), 与 CK 相比, OM 和 NPK 处理土壤易氧化有机碳分别增加 70.17% 和 51.32%. 不难看出, 施有机肥的处理对土壤 EOC 含量提升效果高于 NPK 处理, 说明施用有机肥利于增加土壤 EOC 含量. 通过不同处理间比较发现, OM、RF 和 CF 处理之间土壤 EOC 含量差异不显著, 看来在施入等量有机肥后, 配施化肥对土壤 EOC 含量不会起到更为显著的提升作用; RF 和 CF 两种施肥措施下土壤易氧化有机碳含量没有显著差异, 暗示此时增加氮的投入对土壤 EOC 含量不会再有显著的提升作用.

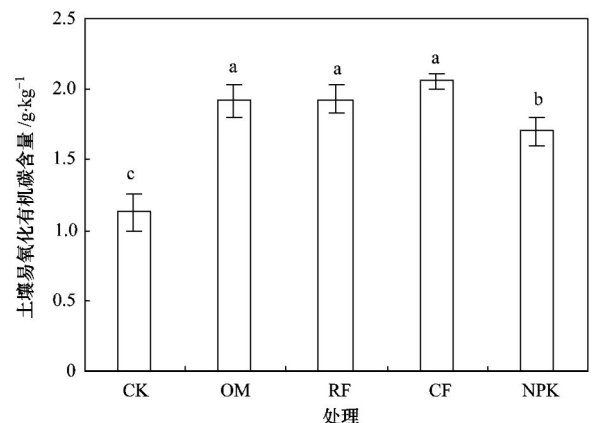


图 2 不同施肥措施下土壤易氧化有机碳含量的变化

Fig. 2 Variation of soil EOC content in different fertilizer application schemes

2.3 土壤微生物量碳

微生物量碳 (MBC) 是土壤中易于利用的养分库及有机物分解和 N 矿化的动力, 与土壤中的 C、N、P、S 等养分循环密切相关, 易受土壤管理措施及有机物降解速率的影响, 是反映土壤养分有效性和土壤微生物状况随环境变化的敏感指标^[21]. 由图 3 可知, 与 CK 相比, RF 和 CF 措施下土壤微生物量碳分别增加 36.06% 和 20.69%, 而 OM 和 NPK 处理下没有显著变化, 看来有机无机配施能显著促进土壤微生物的生长. CF 和 RF 相比, MBC 含量稍

有下降,但没有显著差异,这不仅说明增加化肥氮对 MBC 含量没有显著提升作用,同时也暗示这一化肥氮的配施比例已经不益于土壤微生物的生长.

2.4 土壤活性有机碳组分

土壤活性有机碳组分受施肥措施影响显著(表 3),与 CK 相比,施肥显著提高土壤易氧化有机碳和水溶性有机碳的比例,但不同施肥措施间水溶性有机碳的比例差异不显著. RF 和 CF 处理土壤 EOC 比例显著高于 OM 和 NPK 处理,可见有机无机配施更利于土壤 EOC 比例提升. 此外,RF 和 CF 处理土壤 MBC 比例较 CK 分别增加 0.3 和 0.1 个百分点,而 OM 和 NPK 处理没有显著变化,看来有机无机配施也能有效提升土壤 MBC 的比例.

表 3 土壤活性有机碳占总有机碳的比例

Table 3 Distribution of DOC,EOC and MBC accounting for the proportion of total organic carbon in soil

处理	有机碳 / $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	水溶性有机碳 比例/%	易氧化有机碳 比例/%	微生物量碳 比例/%
CK	$13.39 \pm 0.3\text{bc}$	$0.47 \pm 0.0\text{b}$	$8.41 \pm 0.8\text{d}$	$0.89 \pm 0.1\text{bc}$
OM	$14.38 \pm 0.1\text{a}$	$0.71 \pm 0.1\text{a}$	$13.34 \pm 0.8\text{bc}$	$0.86 \pm 0.1\text{c}$
RF	$13.57 \pm 0.3\text{bc}$	$0.65 \pm 0.1\text{a}$	$14.22 \pm 1.0\text{ab}$	$1.20 \pm 0.2\text{a}$
CF	$13.93 \pm 0.6\text{ab}$	$0.68 \pm 0.0\text{a}$	$14.83 \pm 0.9\text{a}$	$1.04 \pm 0.0\text{b}$
NPK	$13.09 \pm 0.3\text{c}$	$0.68 \pm 0.1\text{a}$	$13.04 \pm 0.9\text{c}$	$0.87 \pm 0.0\text{c}$

3 讨论

腐殖化的有机质、植物凋落物、根系分泌物和微生物量是土壤水溶性有机碳重要来源^[22,23]. 土壤添加富含有机碳的外源有机物料,通过微生物降解,在短期内产生高浓度的水溶性有机物,是施有机肥增加水溶性有机碳的重要原因^[24]. 本研究结果再次验证了这一观点. 另外,发现单施化肥也能显著提高土壤水溶性有机碳含量,这与王艳等^[25]和佟小刚等^[26]等研究结果类似. 但也有研究发现单施化肥处理土壤水溶性有机碳含量明显低于无肥处理^[27]. Chantigny 等^[28]认为土壤 DOC 和矿化 N 含量成对数相关,当矿化 N 水平 $>60 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,随 N 肥施用量的增加,土壤 DOC 的含量变化较小,当矿化 N 水平 $<60 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,DOC 的含量随 N 肥施用量的增加迅速增加. 从本研究基础土壤来看,硝态氮和铵态氮的水平远低于这一临界值,但土壤 DOC 的含量确随 N 肥施用量的增加呈现下降,看来土壤矿化 N 水平并不是决定土壤 DOC 含量变化的唯一因素.

王艳等^[29]研究表明施用有机肥能够显著提高 0~60 cm 各层土壤易氧化有机碳的含量,且施用有机肥以及有机肥与氮磷钾化肥配施效果优于不施有

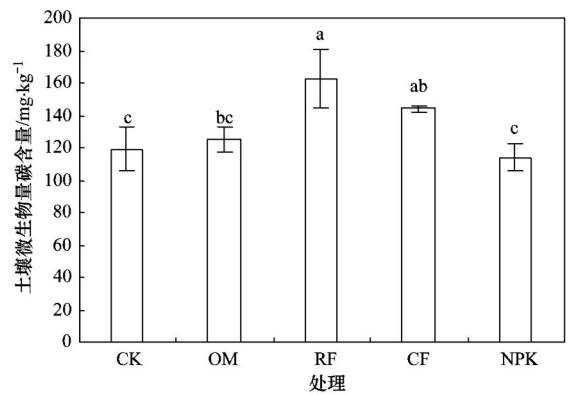


图 3 不同施肥措施下处土壤微生物量碳的影响变化

Fig. 3 Variation of soil MBC content in different fertilizer application schemes

机肥处理. 这一结果与本研究相吻合. 此外,杨长明等^[30]研究结果显示有机无机肥配施的土壤较单施化肥的土壤易氧化有机碳增加 23.8%. 陈涛等^[31]在湖南省 3 个国家级稻田肥力变化长期定位监测发现化肥配施有机肥处理土壤易氧化有机碳显著高于不施肥的对照处理,增幅达 15.33%~103.95%. 另有在中壤质潮褐土上的试验表明,不施肥或单施氮、磷、钾化肥,使土壤易氧化有机质含量明显减少,施用有机肥配施氮、磷、钾化肥可以明显提高土壤易氧化有机质含量^[32]. 可见施用有机肥或有机无机配施是增加土壤易氧化有机碳含量的重要措施.

施肥对土壤微生物量碳的影响较为复杂,不同的研究结果存在差异. 张明等^[33]研究认为,单施有机肥和有机无机配合施用均能显著提高土壤微生物量碳,单施化肥没有显著影响^[34~36],本研究中化肥和有机肥单施均没有显著影响,只是在施有机肥的基础上适量配施化肥才能表现出显著的作用,且随化肥氮的增施,这种促进效果又呈减弱的趋势. 另有研究表明单施化肥能显著提高土壤微生物量碳^[21,37],认为施用化肥增加了作物生物量和根茬,为土壤微生物提供了有机物,促进微生物生长^[9]. 但李淑芬等^[3]和 Dijkstra 等^[38]认为施用化肥,尤其

是无机氮肥,引起土壤的 C/N 比下降,加速了土壤中原有有机碳的分解,导致土壤积累的有机碳总量较少,使土壤微生物减少,降低微生物量碳,本研究结果偏向支持后一观点。

施肥对土壤活性有机碳的组分有显著影响^[39],本研究中无论是单施有机肥或化肥,或是有机无机配施均能显著提高土壤水溶性有机碳的比例,但不同施肥措施没有显著差异。陈涛等^[31]针对水稻土的研究中也有类似的结果,认为这可能与土壤活性有机碳在土壤中具有移动快、稳定性差、易氧化等特性有关。有机无机配施能提高土壤易氧化有机碳^[39]和微生物量碳^[27]的比例。本研究中单施有机肥或化肥对土壤易氧化有机碳比例也有一定的提升作用,但效果不及有机无机配施,且对微生物量碳的比例没有显著的调控作用。而谢芳等^[27]发现单施有机肥或化肥处理的 SMBC/TOC 比值均明显高于无肥处理,表现出显著促进作用。目前有关施肥对土壤活性有机碳组分影响的研究文献较少,不同研究结果差异的根本原因需要进一步探索。

4 结论

(1) 施肥显著提高土壤水溶性有机碳和易氧化有机碳含量,其中单施有机肥(OM)土壤水溶性有机碳含量高于有机无机配施(RF、CF)和化肥单施(NPK)。单施有机肥或有机无机配施对土壤易氧化有机碳含量提升作用显著大于单施化肥。此外,有机无机配施还能显著增加土壤微生物量碳,而有机肥或化肥单施对土壤微生物量碳没有显著作用。

(2) 施肥显著提高土壤易氧化有机碳在总有机碳中的比例,但不同施肥措施没有显著差异。有机无机配施对土壤易氧化有机碳比例的提升作用显著高于有机肥或化肥单施,且对土壤微生物量碳的比例也有显著增进作用,有机肥或化肥单施对土壤微生物量碳的比例没有显著调控作用。

参考文献:

- [1] 沈宏,曹志洪,胡正义. 土壤活性碳的表征及其生态意义[J]. 生态学杂志, 1999, **18**(3): 32-38.
- [2] Guggenberger G, Glaser B, Zech W. Heavy metal binding by hydrophobic and hydrophilic dissolved organic fractions in a spodosol A and B horizon[J]. Water Air and Soil Pollution, 1994, **72**(1-4): 111-127.
- [3] 李淑芬,俞元春,何晟. 土壤溶解有机碳的研究进展[J]. 土壤与环境, 2002, **11**(4): 422-429.
- [4] Karlen D L, Rosek M J, Gardner J C, et al. Conservation reserve program effects on soil quality indicators[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1999, **54**(1): 439-444.
- [5] Whitbread A M, Lefroy R D B, Blair G J. A survey of the impact of cropping on soil physical and chemical properties in north-western New South Wales[J]. Australian Journal of Soil Research, 1998, **36**(4): 669-682.
- [6] 张小磊,何宽,安春华,等. 不同土地利用方式对城市土壤活性有机碳的影响——以开封市为例[J]. 生态环境, 2006, **15**(6): 1220-1223.
- [7] 徐阳春,沈其荣,冉炜. 长期免耕与施用有机肥对土壤微生物量碳、氮、磷的影响[J]. 土壤学报, 2002, **39**(1): 89-95.
- [8] 徐明岗,于荣,孙小凤,等. 长期施肥对我国典型土壤活性有机质及碳库管理指数的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, **12**(4): 459-465.
- [9] 王平,李凤民,刘淑英. 长期施肥对土壤生物活性有机碳库的影响[J]. 水土保持学报, 2010, **24**(1): 224-228.
- [10] 高崇升,王建国. 黑土农田土壤有机碳演变研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2011, **19**(6): 1468-1474.
- [11] 许仁良,王建峰,张国良,等. 秸秆、有机肥及氮肥配合使用对水稻土微生物和有机质含量的影响[J]. 生态学报, 2010, **30**(13): 3584-3590.
- [12] 闫德智,王德建. 长期施用化肥和秸秆对活性有机质组分的影响[J]. 土壤, 2008, **40**(3): 407-411.
- [13] 史吉平,张夫道,林葆. 长期施肥对土壤有机质及生物学特性的影响[J]. 土壤肥料, 1998, (3): 7-11.
- [14] 李海波,韩晓增,王凤. 长期施肥条件下土壤碳氮循环过程研究进展[J]. 土壤通报, 2007, **38**(2): 384-388.
- [15] 高崇升,王建国. 黑土农田土壤有机碳演变研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2011, **19**(6): 1468-1474.
- [16] 中国土壤学会. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999. 22-146.
- [17] Tirol-Padre A, Ladha J K. Assessing the reliability of permanganate-oxidizable carbon as an index of soil labile carbon[J]. Soil Science Society of America Journal, 2004, **68**(3): 969-978.
- [18] Lefroy R D B, Blair G, Strong W M. Changes in soil organic matter with cropping as measured by organic carbon fractions and ¹³C natural isotope abundance[J]. Plant and Soil, 1993, **155-156**(1): 399-402.
- [19] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000. 231-232.
- [20] 盖钧镒. 试验统计方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [21] 卜洪震,王丽宏,尤金成,等. 长期施肥管理对红壤稻田土壤微生物量碳和微生物多样性的影响[J]. 中国农业科学, 2010, **43**(16): 3340-3347.
- [22] Cook B D, Allan D L. Dissolved organic carbon in old field soils: compositional changes during the biodegradation of soil organic matter[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1992, **24**(6): 595-600.
- [23] 赵劲松,张旭东,袁星,等. 土壤溶解性有机质的特性与环境意义[J]. 应用生态学报, 2003, **14**(1): 126-130.
- [24] Gregorich E G, Liang, B C, Ellert B H, et al. Fertilization effects on soil organic matter turnover and corn residue C storage

- [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1996, **60**(2): 472-476.
- [25] 王艳, 杨丽娟, 周崇峻, 等. 长期施肥对设施蔬菜栽培土壤水溶性有机碳含量及其剖面分布的影响[J]. *中国农学通报*, 2010, **26**(11): 178-181.
- [26] 佟小刚, 黄绍敏, 徐明岗, 等. 长期不同施肥模式对潮土有机碳组分的影响[J]. *植物营养与肥科学报*, 2009, **15**(4): 831-836.
- [27] 谢芳, 韩晓日, 杨劲峰, 等. 长期施肥对棕壤微生物量碳和水溶性有机碳的影响[J]. *农业科技与装备*, 2008, (3): 10-13.
- [28] Chantigny M H, Angers D A, Prévost D, *et al.* Dynamics of soluble organic C and C mineralization in cultivated soils with varying N fertilization[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1999, **31**(4): 543-550.
- [29] 王艳, 杨丽娟, 周崇峻, 等. 长期施肥对设施蔬菜栽培土壤易氧化有机碳含量及其剖面分布的影响[J]. *水土保持通报*, 2010, **30**(4): 32-35.
- [30] 杨长明, 欧阳竹, 董玉红. 不同施肥模式对潮土有机碳组分及团聚体稳定性的影响[J]. *生态学杂志*, 2005, **24**(8): 887-892.
- [31] 陈涛, 杜丽君, 郝晓晖, 等. 长期施肥对水稻土活性有机碳的影响[J]. *土壤通报*, 2009, **40**(4): 809-814.
- [32] 韩志卿, 张电学, 王介元, 等. 长期施肥对土壤有机质氧化稳定性动态变化及其与肥力关系的影响[J]. *河北农业大学学报*, 2000, **23**(3): 31-35.
- [33] 张明, 白震, 张威, 等. 长期施肥黑土微生物量碳、氮季节性变化[J]. *生态环境*, 2007, **16**(5): 1498-1503.
- [34] 葛高飞, 梁永超. 玉米生长过程中施肥对土壤呼吸和微生物量碳的影响[J]. *中国农学通报*, 2011, **27**(18): 73-78.
- [35] 张旭博, 徐明岗, 林昌虎, 等. 施肥对红壤有机碳矿化特征的影响[J]. *贵州农业科学*, 2011, **39**(6): 99-102.
- [36] Johnson D, Leake J R, Read D J. Liming and nitrogen fertilization affects phosphatase activities, microbial biomass and mycorrhizal colonization in upland grassland[J]. *Plant and Soil*, 2005, **271**(1-2): 157-164.
- [37] Lovell R D, Hatch D J. Stimulation of microbial activity following spring application of nitrogen[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 1997, **26**(1): 28-30.
- [38] Dijkstra F A, Hobbie S E, Reich P B, *et al.* Divergent effects of elevated CO₂, N fertilization, and plant diversity on soil C and N dynamics in a grassland field experiment[J]. *Plant and Soil*, 2005, **272**(1-2): 41-52.
- [39] 姜培坤, 徐秋芳. 施肥对雷竹林土壤活性有机碳的影响[J]. *应用生态学报*, 2005, **16**(2): 253-256.

CONTENTS

Characteristics of Total Gaseous Mercury Concentrations at a Rural Site of Yangtze Delta, China	DOU Hong-ying, WANG Shu-xiao, WANG Long, <i>et al.</i> (1)
Compositions of Organic Acids in PM ₁₀ Emission Sources in Xiamen Urban Atmosphere	YANG Bing-yu, HUANG Xing-xing, ZHENG An, <i>et al.</i> (8)
Analysis on Water-soluble Inorganic Ions in the Atmospheric Aerosol of Xinglong	LI Xing-ru, SONG Ai-li, WANG Ying-feng, <i>et al.</i> (15)
Effects of Gaseous Compositions the on Simultaneous Removal of NO _x and SO ₂ from Simulated Flue Gas by Ammonia Absorption	WANG Hong, ZHU Tian-le, WANG Mei-yan (21)
Comparing the Ammonia Volatilization Characteristic of Two Typical Paddy Soil with Total Wheat Straw Returning in Taihu Lake Region	WANG Jun, WANG De-jian, ZHANG Gang, <i>et al.</i> (27)
Real-Time Analysis of Polyvinyl Chloride Thermal Decomposition/Combustion Products with Single Photon Ionization/Photoelectron Ionization Online Mass Spectrometer	CHEN Wen-dong, HOU Ke-yong, CHEN Ping, <i>et al.</i> (34)
Surface Characteristics of Alkali Modified Activated Carbon and the Adsorption Capacity of Methane	ZHANG Meng-zhu, LI Lin, LIU Jun-xin, <i>et al.</i> (39)
Distribution of Dimethylsulfoxide(DMSO) in the Surface Water of the Yellow Sea and the Bohai Sea	WANG Min, ZHANG Hong-hai, YANG Gui-peng (45)
Resolving Characteristic of CDOM by Excitation-Emission Matrix Spectroscopy Combined with Parallel Factor Analysis in the Seawater of Outer Yangtze Estuary in Autumn in 2010	YAN Li-hong, CHEN Xue-jun, SU Rong-guo, <i>et al.</i> (51)
Estimation and Forecast of Chlorophyll a Concentration in Taihu Lake Based on Ensemble Square Root Filters	LI Yuan, LI Yun-mei, WANG Qiao, <i>et al.</i> (61)
Research of Hyperspectral Reconstruction Based on HJ1A-CCD Data	GUO Yu-long, LI Yun-mei, ZHU Li, <i>et al.</i> (69)
Research on the Sensitivity of Geochemical of Underground River in Chongqing Xueyu Cave	XU Shang-quan, YANG Ping-heng, YIN Jian-jun, <i>et al.</i> (77)
Bivariate Statistical Model for Calculating Phosphorus Input Loads to the River from Point and Nonpoint Sources	CHEN Ding-jiang, SUN Si-yang, JIA Ying-na, <i>et al.</i> (84)
Temporal and Spatial Variations of Total Nitrogen and Total Phosphorus in the Typical Reaches of Qinhuai River	LI Yue-fei, XIA Yong-qiu, LI Xiao-bo, <i>et al.</i> (91)
Derivation and Application of Sediment Quality Criteria of Cd and Hg for the Xiangjiang River	JIANG Bo-feng, SANG Lei-xin, SUN Wei-ling, <i>et al.</i> (98)
Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in Soil of Relocation Areas from the Danjiangkou Reservoir	ZHANG Lei, QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, <i>et al.</i> (108)
Concentrations of Soil Heavy Metals and Their Spatial Distribution in the Surrounding Area of Fenhe Reservoir	LI Jin-chang, ZHANG Hong, SHI Wei (116)
Distribution and Health Risk Assessment of Heavy Metals of Groundwaters in the Irrigation District of the Lower Reaches of Yellow River	ZHANG Yan, LI Fa-dong, OUYANG Zhu, <i>et al.</i> (121)
Concentrations and Distribution of Organochlorine Pesticides in the Surface Sediments of Jiaozhou Bay, Taozi Bay and Sishili Bay	LIU Yi-kai, ZHONG Guang-cai, TANG Jian-hui, <i>et al.</i> (129)
Choice of Macroinvertebrate Metrics for Constructing a Benthic-Index of Biotic Integrity Based on the Disturbance Gradients in the Qinjiang River Basin	LU Dong-qi, ZHANG Yong, CAI De-suo, <i>et al.</i> (137)
Isolation and Identification of <i>Marinobacter adhaerens</i> HY-3 and Its Allelopathy on <i>Skeletonema costatum</i>	WANG Hong-bin, CHEN Wen-hui, LI Xin-shu, <i>et al.</i> (145)
Effects of the Rice Straw on <i>Microcystis aeruginosa</i> Analyzed by Different Physiological Parameters	SU Wen, KONG Fan-xiang, YU Yang, <i>et al.</i> (150)
Effects of Allelochemicals Ethyl Cinnamate on the Growth and Physiological Characteristics of <i>Chlorella pyrenoidosa</i>	GAO Li-li, GUO Pei-yong, SU Guang-ming, <i>et al.</i> (156)
Hydraulic Simulation and Safety Assessment of Secondary Water Supply System with Anti-Negative Pressure Facility	WANG Huan-huan, LIU Shu-ming, JIANG Shuai, <i>et al.</i> (163)
Effect of Relative Molecular Mass Distribution and Hydrophilicity/Hydrophobicity of NOM on Membrane Fouling in MF-combined Process	HU Meng-liu, LIN Jie, XU Guang-hong, <i>et al.</i> (169)
Effect of Permeabilization on Sulfate Reduction Activity of <i>Desulfovibrio vulgaris</i> Hildenborough Cells in the Presence of Different Electron Donors	XU Hui-wei, ZHANG Xu, LI Li-ming, <i>et al.</i> (177)
Dechlorination of HCB by Bimetals Based on Zero Valent Iron	ZENG Xian-wei, LIU Jian-guo, NIE Xiao-qin (182)
Study on Kinetics of Photoelectrocatalytic Degradation of Supported TiO ₂ on Malachite Green	ZHANG Xiao-na, ZHOU Shao-qi, ZHOU Xiao (188)
Measurement and Analysis of Micropore Aeration System's Oxygenating Ability Under Operation Condition in Waste Water Treatment Plant	WU Yuan-yuan, ZHOU Xiao-hong, SHI Han-chang, <i>et al.</i> (194)
Influence of Microbubble and Its Generation Process on Mixed Liquor Properties of Activated Sludge	LIU Chun, MA Jin, ZHANG Lei, <i>et al.</i> (198)
Impact of Different Nitrogen Concentrations on the N ₂ O Production in the Denitrification Process of Granular Sludge	HAN Xue, GAO Da-wen (204)
Effect of Simulated Heavy Metal Leaching Solution of Electroplating Sludge on the Bioactivity of <i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i>	XIE Xin-yuan, SUN Pei-de, LOU Ju-qing, <i>et al.</i> (209)
Characteristic and Ion Exchanges During Cu ²⁺ and Cd ²⁺ Biosorption by <i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	BAI Jie-qiong, YIN Hua, YE Jin-shao, <i>et al.</i> (217)
Sorption of Nitrobenzene to Anionic Surfactant Modified Layered Double Hydroxides	XIA Yan, ZHU Run-liang, TAO Qi, <i>et al.</i> (226)
Study on Phosphate Removal and Recovery by Activated Alumina	MENG Wen-na, XIE Jie, WU De-yi, <i>et al.</i> (231)
Spatial Distribution of Inhalable Particulate and Association with Respiratory Disease in Beijing City	YANG Wei, ZHAO Wen-ji, GONG Zhao-ning, <i>et al.</i> (237)
Pollution Levels of Perfluorochemicals in Chicken Eggs and Duck Eggs from the Markets in Beijing	QI Yan-jie, ZHOU Zhen, SHI Ya-li, <i>et al.</i> (244)
Residual Levels of Pesticides in Freshwater Fish from Beijing Aquatic Product Markets and Health Risk Assessment	YU Zhi-yong, JIN Fen, SUN Jing-fang, <i>et al.</i> (251)
Characterizing the Toxicity Interaction of the Binary Mixture Between DMSO and Pesticide by the Multi-Effect Residual Analysis (MERA)	HUO Xiang-chen, LIU Shu-shen, ZHANG Jing, <i>et al.</i> (257)
Isolation of Quinolofop- <i>p</i> -ethyl-degrading Bacteria from Soil by DGGE-Colony <i>in situ</i> Hybridization	LÜ Xin, PENG Xia-wei, HU Qing, <i>et al.</i> (263)
White-Rot Fungi Combinations Impact on Enzyme Productions	MENG Yao, LIANG Hong, GAO Da-wen (271)
Effects of Different Fertilizer Application on Soil Active Organic Carbon	ZHANG Rui, ZHANG Gui-long, JI Yan-yan, <i>et al.</i> (277)
Effect of Reclamation on the Vertical Distribution of SOC and Retention of DOC	HUO Li-li, ZOU Yuan-chun, GUO Jia-wei, <i>et al.</i> (283)
Distribution Characteristics of Soil Organic Carbon and Its Composition in <i>Suaeda salsa</i> Wetland in the Yellow River Delta	DONG Hong-fang, YU Jun-bao, GUAN Bo (288)
Study the Restoration Technology of Concentrated Application-Natural Diffusion about Amendments of Acidified Soil of Hilly Woodland	FANG Xiong, LIU Ju-xiu, YIN Guang-cai, <i>et al.</i> (293)
Optimizing Remediation Conditions of Non-thermal Plasma for DDTs Heavily Contaminated Soil	CHEN Hai-hong, LUO Yong-ming, TENG Ying, <i>et al.</i> (302)
Chemical Extraction of Arsenic Co-precipitated with Amorphous Fe(OH) ₃ and Fe ₃ O ₄	CHEN Yi-ping, WANG Shao-feng, JIA Yong-feng (308)
Influence of Aluminum and Manganese on the Growth, Nutrient Uptake and the Efflux by Ectomycorrhizal Fungi	LI Hua, HUANG Jian-guo, YUAN Ling (315)
High-solids Anaerobic Co-digestion of Sludge and Kitchen Garbage Under Mesophilic Conditions	DUAN Ni-na, DONG Bin, LI Jiang-hua, <i>et al.</i> (321)
Preparation, Characterization and Adsorption Performance of High Surface Area Biomass-based Activated Carbons	LI Kun-quan, LI Ye, ZHENG Zheng, <i>et al.</i> (328)
Study on Strategies of Pollution Prevention in Coastal City of Zhejiang Province Based on Scenario Analysis	TIAN Jin-ping, CHEN Lü-jun, DU Peng-fei, <i>et al.</i> (336)
Advance in the Bioavailability Monitoring of Heavy Metal Based on Microbial Whole-cell Sensor	HOU Qi-hui, MA An-zhou, ZHUANG Xiu-liang, <i>et al.</i> (347)
Characteristics of Heavy Metal Contamination in Street Dusts Along the Urban-Rural Gradient Around Beijing	HE Xiao-yan, GU Pei, LI Xu-yong, <i>et al.</i> (357)
Content Trends of Pollutants in Street Dust of Beijing Along the Urban-Rural Gradient and Road Density Gradient	TANG Rong-li, MA Ke-ming, ZHANG Yu-xin, <i>et al.</i> (364)
Analysis of First Flush Effect of Typical Underlying Surface Runoff in Beijing Urban City	REN Yu-fen, WANG Xiao-ke, OUYANG Zhi-yun, <i>et al.</i> (373)
Temporal Variation of Water Quality and Driving Factors in Yanghe Watershed of Zhangjiakou	PANG Bo, WANG Tie-yu, LÜ Yong-long, <i>et al.</i> (379)
Research on Carbon Reduction Potential of Electric Vehicles for Low-Carbon Transportation and Its Influencing Factors	SHI Xiao-qing, LI Xiao-nuo, YANG Jian-xin (385)
Investigation of Waste Classification and Collection Actual Effect and the Study of Long Acting Management in the Community of Beijing	DENG Jun, XU Wan-ying, ZHOU Chuan-bin (395)
Problems and Countermeasures in the Application of Constructed Wetlands	HUANG Jin-lou, CHEN Qin, XU Lian-huang (401)

《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1月15日 34卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 1 Jan. 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

国内外公开发刊