

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第9期

Vol.36 No.9

2015

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

长江三角洲 PM_{2.5}质量浓度遥感估算与时空分布特征 徐建辉,江洪 (3119)

宁波市 PM_{2.5}中碳组分的时空分布特征和二次有机碳估算 杜博涵,黄晓锋,何凌燕,胡敏,王川,任宇超,应红梅,周军,汪伟峰,许丹丹 (3128)

青岛大气中酸碱气体及 PM_{2.5}中水溶性离子的浓度特征和气粒平衡关系 周佳佳,石金辉,李丽平,姚小红,高会旺 (3135)

北京雾霾天大气颗粒物中微生物气溶胶的浓度及粒谱特征 胡凌飞,张柯,王洪宝,李娜,王洁,杨文慧,殷喆,焦周光,温占波,李劲松 (3144)

2015年春节北京市空气质量分析 程念亮,陈添,张大伟,李云婷,孙峰,魏强,刘嘉林,刘保献,孙瑞雯 (3150)

上海市大气挥发性有机化学消耗与臭氧生成的关系 王红丽 (3159)

生物滴滤塔净化氯代烃混合废气的研究 陈东之,缪孝平,欧阳杜娟,叶杰旭,陈建孟 (3168)

一种基于 GOCI 数据的叶绿素 a 浓度三波段估算模型 郭宇龙,李云梅,李渊,吕恒,刘闯,王旭东,张思敏 (3175)

巢湖溶解性有机物时空分布规律及其影响因素 叶琳琳,吴晓东,刘波,闫德智,张攻琪,周阳 (3186)

河北洺河溶解性有机物光谱学特性 虞敏达,张慧,何小松,檀文炳,张媛,马丽娜,席北斗,党秋玲,高如泰 (3194)

东山岛地下水“三氮”空间分布特征 吴海燕,傅世锋,蔡晓琼,汤坤贤,曹超,陈庆辉,梁修雨 (3203)

重庆典型岩溶区地下河中溶解态正构烷烃、脂肪酸来源、迁移及转化 梁作兵,孙玉川,王尊波,师阳,江泽利,张媚,谢正兰,廖昱 (3212)

硫酸对乌江中上游段岩溶水化学及 δ¹³C_{DIC}的影响 黄奇波,覃小群,刘朋雨,张连凯,苏春田 (3220)

阆中市思依镇水化学特征及其成因分析 张艳,吴勇,杨军,孙厚云 (3230)

东南沿海河流-水库系统藻类生长营养盐限制季节变动 陈聪聪,饶拉,黄金良,白敏冬 (3238)

水体氮磷营养盐水平与氯霉素浓度复合水体对苦草的生理生化影响 胡珍珍,崔益斌,李梅,余静 (3248)

溶藻活性物质对棕囊藻溶藻及其脂肪酸影响的模拟 杨秋婵,赵玲,尹平河,谭烁,舒万姣,侯少玲 (3255)

坡岸截留强化处理设施在不同运行条件下对农业面源污染物去除效果 李怀正,陈珂莉,危忠,王卫刚 (3262)

典型材料屋面积尘重金属形态分布与风险评估 李敦柱,管运涛,刘安,李思远 (3269)

南水北调丹江口水库水氯(胺)化消毒副产物产生特性与消毒工艺对比 张民盛,徐斌,张天阳,程拓,夏圣骥,楚文海 (3278)

臭氧-混凝交互作用对混凝效果的影响 刘海龙,郭雪峰,王敏慧,焦茹媛,石健 (3285)

含溴水臭氧化过程阴离子对溴酸盐生成的影响 吴悦,吴纯德,刘吕刚,袁博杰 (3292)

厌氧环境雌黄溶解产物形态的 XAS 研究 王莹,许丽英,王少锋,肖翻,贾永锋 (3298)

印染及染料行业废水生物处理系统中的 AOX 污染研究 申洋洋,刘锐,徐灿灿,舒小铭,许江军,兰亚琼,陈吕军 (3304)

螺旋霉素制药废水处理过程中耐药菌和抗性基因的转归特征 覃彩霞,佟娟,申佩弘,魏源送 (3311)

两种膜生物反应器处理养猪沼液的比较研究 税勇,川岸朋树,宋小燕,刘锐,陈吕军 (3319)

农村污水膜生物反应器系统中微生物群落解析 孔晓,崔丙健,金德才,吴尚华,杨波,邓晔,庄国强,庄绪亮 (3329)

四区一体反应器冬季启动脱氮特性及硝化菌群结构分析 张岩,孙凤侠,谢杭冀,陈敬,睦稀,甘志明,王修平,史扬 (3339)

从亚硝酸还原厌氧氨氧化转变为硫酸盐型厌氧氨氧化 刘正川,袁林江,周国标,李晶 (3345)

提高有机负荷对好氧颗粒污泥形成与稳定过程的影响 刘小鹏,王建芳,钱飞跃,王琰,陈重军,沈耀耀 (3352)

常规施肥条件下农田不同途径氮素损失的原位研究,以长江中下游地区夏玉米季为例 桑蒙蒙,范会,姜珊珊,蒋静艳 (3358)

水氮组合模式对双季稻甲烷和氧化亚氮排放的影响 傅志强,龙攀,刘依依,钟娟,龙文飞 (3365)

厌氧条件下砂壤水稻土 N₂、N₂O、NO、CO₂ 和 CH₄ 排放特征 曹娜,王睿,廖婷婷,陈诺,郑循华,姚志生,张海,Klaus Butterbach-Bahl (3373)

黄土丘陵区不同有机碳背景下侵蚀坡面土壤呼吸特征 陈盖,许明祥,张亚锋,王超华,樊会敏,王闪闪 (3383)

生物炭添加对半干旱地区土壤温室气体排放的影响 郭艳亮,王丹丹,郑纪勇,赵世伟,张兴昌 (3393)

宁夏山区林地土壤原位矿化过程中碳氮转化耦合特征 倪银霞,黄懿梅,牛丹,赵彤,闫浩,蒋跃利 (3401)

石漠化山地植被恢复过程土壤团聚体氮分布及与氮素矿化关系研究 胡宁,马志敏,蓝家程,伍宇春,陈高起,傅瓦利,文志林,王文净 (3411)

江汉平原农田土壤有机碳分布与变化特点:以潜江市为例 王玉竹,肖和艾,周萍,童成立,葛体达,曾冠军,吴金水 (3422)

缙云山不同土地利用方式下土壤团聚体中活性有机碳分布特征 李睿,江长胜,郝庆菊 (3429)

西北典型工矿型城市街道尘埃重金属污染的环境磁学响应 聂燕,王新,王博,许淑婧,高福元,余晔,夏敦胜,夏听鸣 (3438)

电镀厂周边环境重金属分布特征及人体健康暴露风险评价 郭鹏然,雷永乾,周巧丽,王畅,潘佳钊 (3447)

典型电力电容器污染土壤中多氯联苯水平及特性 刘洁,李晓东,赵中华,祁志福,陈彤,严建华 (3457)

紫色土对硫丹的吸附与解吸特征 赵炎,郑国灿,朱恒,张进忠,朱秀英,胡淑春,吴娅林 (3464)

紫茉莉对石油污染盐碱土壤微生物群落与石油烃降解的影响 焦海华,崔丙健,吴尚华,白志辉,黄占斌 (3471)

4株外生菌根真菌对 Al³⁺吸收与吸附的研究 王明霞,袁玲,黄建国,周志峰 (3479)

长春市郊区蔬菜有机磷农药残留与健康风险评价 于锐,刘景双,王其存,刘强,王洋 (3486)

北京市北神树生活垃圾填埋场产甲烷菌的群落结构和演替规律 宋立娜,王磊,夏孟婧,苏月,李振山 (3493)

城市分散式粪便颗粒化有机肥用作叶菜肥的肥力及环境影响 吕文洲,乔宇祥,余宁,史荣华,王光明 (3501)

V₂O₅-WO₃/TiO₂ 催化剂与活性炭混合降解气相二噁英 任咏,纪莎莎,俞明峰,李晓东,严建华 (3508)

基于出行服务的纯电动公交车节能减排效益分析 林晓丹,田良,吕彬,杨建新 (3515)

我国挥发性有机物定义和控制指标的探讨 江梅,邹兰,李晓倩,车飞,赵国华,李刚,张国宁 (3522)

异化铁还原对土壤中重金属形态转化及其有效性影响 司友斌,王娟 (3533)

《环境科学》征订启事 (3297) 《环境科学》征稿简则 (3303) 信息 (3127, 3202, 3277, 3318)

江汉平原农田土壤有机碳分布与变化特点：以潜江市为例

王玉竹^{1,2}, 肖和艾¹, 周萍^{1*}, 童成立¹, 葛体达¹, 曾冠军¹, 吴金水¹

(1. 中国科学院亚热带农业生态研究所亚热带农业生态过程重点实验室, 长沙 410125; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 以地处江汉平原腹地的潜江市农田土壤(水田、旱地)为研究对象, 于 2011 年实地采样分析表层土壤(0~20 cm)有机碳的分布现状, 并对比第二次土壤普查(1983 年)资料, 探讨 28 a 来江汉平原农田土壤有机碳的分布与变化特点. 结果表明, 2011 年潜江市农田表层土壤有机碳密度为 $30.50 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$, 碳储量为 $452.82 \times 10^4 \text{ t}$, 与 1983 年相比有明显下降, 下降速率分别为 $0.10 \text{ t}\cdot(\text{hm}^2\cdot\text{a})^{-1}$ 和 $1.53 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$, 碳储量共损失了 9%. 两个时期水田土壤有机碳密度均明显高于旱地土壤, 分别是旱地土壤的 1.6 倍和 1.3 倍, 但是经过 28 年的常规耕作管理, 水田土壤有机碳密度呈下降趋势, 下降速率为 $0.23 \text{ t}\cdot(\text{hm}^2\cdot\text{a})^{-1}$, 导致的有机碳损失为 $52.83 \times 10^4 \text{ t}$, 损失比例达 16%; 而旱地土壤有机碳则以 $0.05 \text{ t}\cdot(\text{hm}^2\cdot\text{a})^{-1}$ 的速率缓慢增长, 碳储量共增加了 $8.57 \times 10^4 \text{ t}$, 增加比例为 5%, 远不能抵消水田土壤的有机碳损失. 水田土壤碳储量的损失主要来自于低产潜育型水稻土碳密度的大幅下降所致(尽管其所占面积比例较小), 其碳损失量占水田碳损失量的比例达 80%; 其次为占水田面积比例最大的潜育型水稻土, 其碳损失量占水田碳损失量的 15%. 旱地土壤碳储量增长缓慢, 完全来自于面积占 96% 的灰潮土有机碳密度的增长. 因此, 江汉平原区水田土壤有机碳的变化决定了农田土壤有机碳的整体动向, 今后需着力提升有机碳下降迅速的低产水田以及面积较大的土壤类型的有机碳积累和固持能力.

关键词: 土地利用; 土壤类型; 土壤有机碳; 碳密度; 碳储量; 水田; 旱地

中图分类号: X144 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)09-3422-07 DOI: 10.13227/j.hjcx.2015.09.038

Distribution and Dynamics of Cropland Soil Organic Carbon in Jiangnan Plain: A Case Study of Qianjiang City

WANG Yu-zhu^{1,2}, XIAO He-ai¹, ZHOU Ping^{1*}, TONG Cheng-li¹, GE Ti-da¹, ZENG Guan-jun¹, WU Jin-shui¹

(1. Key Laboratory of Agro-Ecological Processes in Subtropical Region, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Taking an example of Qianjiang City in Jiangnan Plain, the distribution and dynamics of soil organic carbon (SOC) in croplands was studied in present study. The cropland included both paddy field and dry land. SOC contents were analyzed by taking soil samples of topsoil (0-20 cm) in 2011 according to land uses and soil types, and then compared with the initial SOC conducted in the period of the second soil survey (1983). The results showed that SOC density and storage in 2011 was $30.50 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ and $452.82 \times 10^4 \text{ t}$, respectively. During the past 28 years, the cropland SOC density was decreased at a rate of $0.10 \text{ t}\cdot(\text{hm}^2\cdot\text{a})^{-1}$, and SOC storage was reduced by 9% with the decreasing rate of $1.53 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$. SOC density and storage in paddy field was about 1.6 and 1.3 times over that in dry land in the two selected periods. However, the dynamics of SOC in paddy field and dry land were quite the opposite. In paddy field, SOC was lost by 16% ($52.83 \times 10^4 \text{ t}$), with a decreasing rate of $0.23 \text{ t}\cdot(\text{hm}^2\cdot\text{a})^{-1}$; whereas in dry land, SOC was increased by 5% ($8.57 \times 10^4 \text{ t}$), with an increasing rate of $0.05 \text{ t}\cdot(\text{hm}^2\cdot\text{a})^{-1}$. The loss of SOC in paddy field was mainly resulted from gleyed paddy soil, which suffered a fast decrease of SOC density and accounted for 80% of SOC lost in paddy field. In addition, Hydromorphic paddy soil, accounting for 50% of the area of paddy field, tended to loss another 15% of SOC in paddy field. While in dry land, the minor SOC storage increased was dominantly attributed to grey fluvo aquic soil, which accounted for 96% of the area of dry land. Thus, the dynamics of cropland SOC in Jiangnan Plain was dominantly controlled by SOC changes in paddy field. Our findings suggest that effective management should be considered to enhance the capacity of SOC accumulation and sequestration in the low-yield paddy field and the types of soils that are large in area.

Key words: land use; soil type; soil organic carbon; carbon density; carbon storage; paddy field; dry land

农田土壤受人类活动(耕作、施肥等)的影响最为强烈, 其有机碳库可在短期内对人为干扰作出响应, 成为大气 CO_2 的“源”或“汇”^[1~3]. 因此, 农田土壤碳储量的准确估算对于了解区域尺度农田土壤碳库的动态变化及其对气候变化的影响具有十分重

收稿日期: 2015-01-17; 修订日期: 2015-03-30

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(XDA05050505); 国家自然科学基金项目(41371252, 41430860); 国家科技支撑计划项目(2013BAD11B02-4)

作者简介: 王玉竹(1991~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为农田土壤固碳, E-mail: wangyuzhu516@163.com

* 通讯联系人, E-mail: zhouping@isa.ac.cn

要的意义^[4~7]。近年来,我国关于区域农田土壤碳库的估算主要通过全国、地理层面的尺度对第二次土壤普查资料进行统计分析。已有研究大多认为,自第二次土壤普查以来,我国农田土壤有机碳总体上呈增长趋势,固碳效应明显,其中水稻土的有机碳增长速率明显大于旱土^[8~16]。尽管如此,某些地区由于人类不合理的土地利用活动有可能导致农田土壤有机碳出现减少的趋势,成为大气 CO₂ 的“源”^[17~22],从而可能影响对大尺度农田碳平衡的精确估算。因此,明确区域农田土壤有机碳的变化趋势,对于优化区域农田管理措施、促进区域土壤有机碳库的精确估算和维持区域碳平衡具有重要意义。

江汉平原区位于湖北省中南部,是由长江和汉江共同冲积而成的广阔平原,属亚热带季风气候。该区域农田土壤占全国耕地面积的 2% 左右,历来是湖北乃至全国重要的粮食产区和农产品生产基地。经过近 30 a 的农业耕作管理和土地利用方式的频繁改变,江汉平原农田土壤有机碳的现状与变化趋势究竟如何,仍然有待于深入探讨。目前该区域已有的少量关于农田土壤有机碳的研究主要集中在不同利用方式之间的差异,认为水田土壤有机碳含量明显高于旱地土壤,但有机碳稳定性却低于旱地土壤^[23,24]。

县域是我国国家尺度土壤碳库估算的基本地域单元。因此,本研究以位于江汉平原腹地的潜江市为例,于 2011 年通过“点对点”实地密集采样,基于土地利用和土壤类型分析农田土壤有机碳现状,并通过与 1983 年第二次土壤普查数据进行对比,估算近 30 a 来潜江市农田土壤有机碳的变化,探讨影响土壤有机碳变化的主要土壤成因,以期江汉平原区农田土壤碳估算及区域碳平衡提供基础理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

潜江市(E112°29'~113°01',N30°04'~30°39')位于湖北省中南部江汉平原腹地,辖区共 14 个管理区(农场)、1 个省级经济开发区、10 个镇和 1 个原种场,是重要的粮棉油生产基地。境内地势平坦开阔,地形西北部略高,东南部低,地面海拔为 26~31 m。年平均气温 16.1℃,年平均降雨量 1119.7 mm,属于北亚热带湿润性季风气候。潜江市现有耕地面积 223 万亩,其中水田 125 万亩,旱地 98 万亩,分别

占 56% 和 44%。主要作物为棉花、小麦、油菜、水稻、豆类、花生、玉米和薯类,大多为一年二熟制。土壤类型主要为水稻土和潮土,有零星黄棕壤分布。

1.2 土壤样点布设与样品采集

土壤样点的布设遵从综合性、均衡性、可对照性的原则,主要考虑土壤类型和土地利用方式,采用土壤类型-土地利用联合单元布点法。各类型单元的样点数与面积成比例,在空间分布上大致均匀,且尽量与全国第二次土壤普查点重合,尽可能做到“点对点”比对。全市共布设样点 143 个,其中水田样点 75 个,旱地样点 68 个(图 1)。

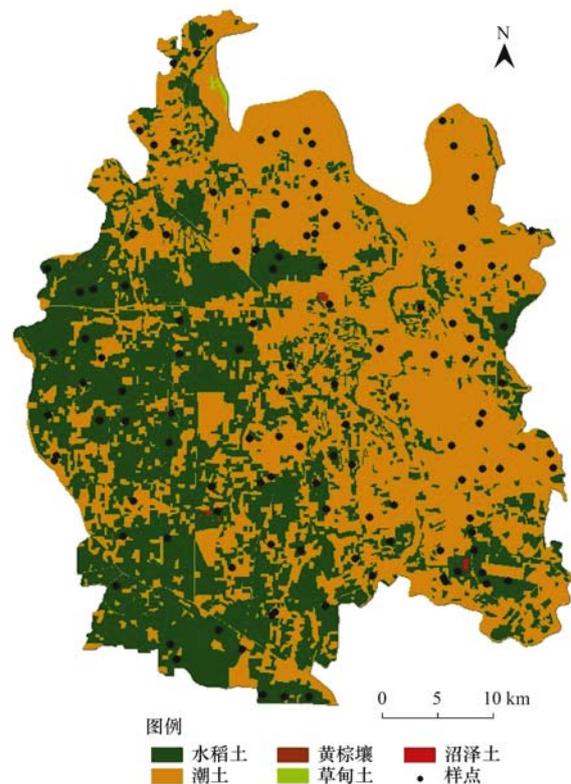


图 1 2011 年潜江市采样点分布

Fig. 1 Soil sampling locations in Qianjiang City in 2011

于 2011 年 9 月进行土壤样品采集,在每个布设样点的田块随机 5 点采集 0~20 cm 表层土壤样品,混合为 1 个土壤样品。并采用环刀(容积 100 cm³)取原状土测量土壤容重,3 次重复。采样的同时记录每个样点的经纬度、海拔、地形地貌等自然环境,并调查当地田间施肥管理与产量等状况。采集的新鲜土样带回实验室,剔除可见的动植物残体,置于通风、阴凉、干燥的室内自然风干,过 2 mm 筛,一部分用于测定土壤 pH 值和土壤颗粒组成,另一部分继续过 0.045 mm 筛,用于测定土壤有机碳(SOC)和全氮(TN)等土壤理化指标。

1.3 土壤样品分析

土壤有机碳含量采用重铬酸钾氧化-外加热法测定^[25]; 土壤全氮含量采用硒粉-硫酸铜-硫酸消化法得到消煮液, FIAstar5000 流动注射分析仪测定; 土壤含水量采用烘干法测定; 土壤容重采用环刀法测定; 土壤 pH 采用 pH 计(土水比 1:2.5)测定.

1.4 计算方法

1.4.1 土壤有机碳密度及其变化速率

采用下列公式计算农田表层土壤有机碳密度^[11]:

$$\text{SOCD} = \text{SOC} \times \gamma \times H \times (1 - \delta) \times 10^{-1} \quad (1)$$

式中, SOCD 为土壤有机碳密度($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$), SOC 为有机碳含量($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$), γ 为土壤容重($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$), H 为土层厚度(cm, 本研究取 20 cm), δ 为 > 2 mm 颗粒所占的体积分数(%). 对于第二次土壤普查时某些样点表层采样深度 < 20 cm 时, 采用加权平均法换算成 20 cm 深度的 SOC 含量. 对于部分样点缺失表层土壤容重时, 用下列公式计算土壤容重^[11]:

$$\gamma = -0.220 \times \ln \text{SOC} + 1.780 \quad (2)$$

土壤有机碳密度变化速率采用下式计算:

$$D_r = (\text{SOCD}_t - \text{SOCD}_0) / t \quad (3)$$

式中, D_r 为土壤有机碳密度年均变化速率 [$\text{t} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$], SOCD_t 为 2011 年采样时的土壤有机碳平均密度($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$), SOCD_0 为第二次土壤普查时的土壤平均有机碳密度($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$), t 为年限(a).

1.4.2 土壤有机碳库及其变化速率

土壤有机碳库计算如下:

$$S = \text{SOCD} \times A \quad (4)$$

式中, S 为土壤有机碳库(t), A 为某一利用方式或土壤类型土壤的面积(hm^2).

土壤有机碳库变化速率采用下式计算:

$$S_r = (S_t - S_0) / t \quad (5)$$

式中, S_r 为土壤有机碳库年均变化速率($\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$), S_t 为 2011 年采样时土壤有机碳储量(t), S_0 为第二次土壤普查时土壤有机碳储量(t), t 为年限(a).

1.5 统计分析

数据处理采用 Microsoft Excel 2003 进行, 统计分析用 SPASS 13.0 统计软件对不同年份与土壤类型之间土壤有机碳差异进行 ANOVA 分析, LSD 法进行差异显著性检验.

2 结果与分析

2.1 不同利用方式农田土壤有机碳分布与变化

这里将农田土壤按照利用方式分为水田和旱地两种. 由图 2 和图 3 可见, 1983 年和 2011 年两个时期潜江市农田表层土壤(0~20 cm)有机碳(SOC)含量的频率分布特征相似. 但是, 同一时期水田和旱地之间 SOC 的频率分布特征差别较大(图 3), 其中水田土壤 SOC 约有 65% 分布在 10~20 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间; 而旱地土壤 SOC 则主要分布在 5~10 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间, 分布频率达 60%.

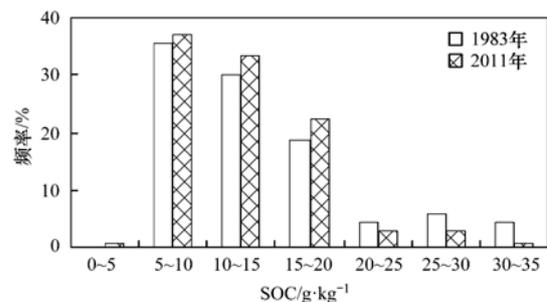


图 2 潜江市农田表层土壤有机碳含量的频率分布

Fig. 2 Frequency distribution of topsoil SOC content in croplands of Qianjiang City

进一步计算土壤有机碳密度和储量, 可以看出, 潜江市农田土壤有机碳密度和碳储量总体表现为下降趋势. 农田土壤碳密度由 1983 年的 33.39 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 下降到 2011 年的 30.50 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 变化量为 $-2.89 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 变化速率为 $-0.10 \text{ t} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ (表 1); 土壤碳储量由 1983 年的 $495.73 \times 10^4 \text{ t}$ 减少到 2011 年的 $452.82 \times 10^4 \text{ t}$, 变化量为 $-42.91 \times 10^4 \text{ t}$, 变化速率为 $-1.53 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$. 1983 和 2011 年水田土壤碳密度均明显高于旱地土壤, 两者之间

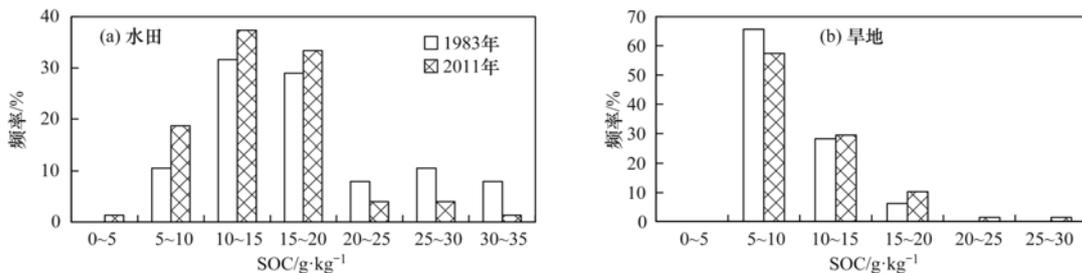


图 3 潜江市水田和旱地表层土壤有机碳含量的频率分布

Fig. 3 Frequency distribution of topsoil SOC contents in paddy soils and dry lands of Qianjiang City

有机碳密度和碳储量的变化也存在明显差异. 与 1983 年相比, 水田土壤有机碳密度和碳储量呈现下降趋势, 分别减少了 $6.36 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $52.83 \times 10^4 \text{ t}$, 变化速率分别为 $-0.23 \text{ t} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ 和 $-1.89 \times$

$10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$. 相反, 旱地土壤有机碳密度和碳储量表现为增加趋势, 分别增加了 $1.31 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $8.57 \times 10^4 \text{ t}$, 变化速率分别为 $0.05 \text{ t} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ 和 $0.31 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ (表 1).

表 1 潜江市不同利用方式农田土壤碳密度/储量的分布与变化¹⁾

Table 1 Distribution and change of soil organic carbon density/storage in cropland with different land uses in Qianjiang City

利用方式	面积 $\times 10^4/\text{hm}^2$	碳密度/ $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$		碳储量/ 10^4 t		碳密度变化		碳储量变化	
		1983 年	2011 年	1983 年	2011 年	变化量 $/\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$	变化速率 $/\text{t} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$	变化量 $\times 10^4/\text{t}$	变化速率 $\times 10^4/\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$
农田	14.85	33.39 Ba	30.50 Bb	495.73 Aa	452.82 Ab	-2.89	-0.10	-42.91	-1.53
水田	8.31	40.10 Aa	33.74 Ab	333.11 Ba	280.28 Bb	-6.36	-0.23	-52.83	-1.89
旱地	6.54	25.63 Cb	26.94 Ca	167.61 Cb	176.18 Ca	1.31	0.05	8.57	0.31

1) 同行不同小写字母表示不同年份间差异显著; 同列不同大写字母表示利用方式之间差异显著

2.2 不同土壤类型农田土壤有机碳分布与变化

潜江市农田土壤主要包含 3 个土类, 8 个亚类, 17 个土属. 以潮土土类的灰潮土亚类为主, 占农田土壤面积的 43%, 其次为水稻土土类的潜育型水稻土亚类, 占 28%. 因浅潮土田、浅黄棕壤性第四纪黏土泥田、黄棕壤性侧渗泥田、砂土型潮土、黏土型潮土、砂土型灰潮土、黏土型灰潮土、第四纪黏土黄棕壤等 8 个土属和黄棕壤 1 个土类的面积极少, 分别仅占农田面积的比例不足 0.5%, 其有机碳变化总体上并不能影响农田土壤碳库的变化, 故在此不予阐述.

水稻土土类以潜育型水稻和淹育型水稻土为主, 分别占水稻土面积的 50% 和 33%, 潜育型水稻土和沼泽型水稻土分别占 15% 和 2% 左右. 1983~2011 年间, 水稻土中仅淹育型水稻土的有机碳密度略有增加, 增量为 $2.48 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 因其

所占水稻土的面积比例较高, 所增加的碳储量达到 $6.49 \times 10^4 \text{ t}$. 其余 3 种水稻土亚类的有机碳密度和碳储量均呈下降趋势(表 2). 尽管潜育型水稻土占水稻土面积的比例较小, 但其土壤碳密度降低最快, 导致水稻土的碳储量损失也为最大 ($42.27 \times 10^4 \text{ t}$), 占水稻土碳损失量的比例为 80%. 潜育型水稻土共损失了 $13.24 \times 10^4 \text{ t}$ 有机碳, 占水稻土碳损失量的比例约为 15%. 沼泽型水稻土碳损失量为 $2.26 \times 10^4 \text{ t}$, 占水稻土碳损失量的比例约为 4%.

潮土土类的 2 个亚类均表现为土壤固碳趋势, 有机碳密度的变化幅度相似(表 2). 但因灰潮土亚类在潮土土类中的面积比例(97%)占有绝对优势, 其增加的土壤碳储量 ($8.14 \times 10^4 \text{ t}$) 约是潮土亚类 ($0.35 \times 10^4 \text{ t}$) 的 23 倍, 占整个潮土土类碳增量的比例高达 95%.

表 2 潜江市不同土壤类型农田土壤有机碳密度/储量的分布与变化¹⁾

Table 2 Distribution and change of soil organic carbon density/storage in cropland with different soil types in Qianjiang City

土类	亚类	土属	面积 $\times 10^4/\text{hm}^2$	碳密度/ $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$		碳储量/ 10^4 t		碳密度变化		碳储量变化	
				1983 年	2011 年	1983 年	2011 年	变化量 $/\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$	变化速率 $/\text{t} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$	变化量 $\times 10^4/\text{t}$	变化速率 $\times 10^4/\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$
水稻土	潜育型水稻土	灰青泥田	0.60	58.27 a	23.42 b	33.80 a	13.58 b	-34.85	-1.24	-20.21	-0.72
		青泥田	0.61	60.91 a	24.14 b	36.55 a	14.48 b	-36.77	-1.31	-22.06	-0.79
水稻土	潜育型水稻土	潮土田	0.73	36.59 a	28.53 b	26.53 a	20.68 b	-8.06	-0.29	-5.84	-0.21
		黄棕壤性第四纪黏土泥田	0.17	40.82 a	37.96 a	6.74 a	6.26 a	-2.86	-0.10	-0.47	-0.02
		灰潮土田	3.23	36.92 a	36.36 a	119.25 a	117.44 a	-0.56	-0.02	-1.81	-0.06
水稻土	沼泽型水稻土	烂泥田	0.25	57.75 a	48.71 b	14.15 a	11.93 b	-9.04	-0.32	-2.21	-0.08
水稻土	淹育型水稻土	浅灰潮砂田	2.62	29.83 b	32.31 a	78.07 b	84.56 a	2.48	0.09	6.49	0.23
潮土	潮土	壤土型潮土	0.20	27.00 b	28.75 a	5.40 b	5.75 a	1.75	0.06	0.35	0.01
潮土	灰潮土	砂土型灰潮土	1.65	26.16 a	27.04 a	43.11 a	44.56 a	0.88	0.03	1.45	0.05
		壤土型灰潮土	4.62	25.20 b	26.65 a	116.32 b	123.02 a	1.45	0.05	6.69	0.24

1) 同行不同小写字母表示不同年份间差异显著

3 讨论

本研究结果表明,潜江市第二次土壤普查(1983年)时的农田表层土壤有机碳密度为 $33.39 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,这一结果与 Song 等^[26]、许泉等^[27]报道的第二次土壤普查时我国农田表层土壤有机碳密度($32 \sim 35 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$)相接近。2011年潜江市农田耕层土壤碳密度为 $30.50 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,明显低于亚热带地区的现有水平($34.3 \sim 60.4 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$)^[13,19]和全国尺度的平均水平($36.7 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$)^[28]。与第二次土壤普查相比,潜江市农田土壤有机碳密度有所下降,导致的土壤碳库损失量达 $42.91 \times 10^4 \text{ t}$,这与国内大部分研究^[11,13,29,30]认为的自第二次土壤普查以来我国农田土壤普遍出现明显的固碳效应相反,也与奚小环等^[31]关于江汉平原区自第二次土壤普查至2004年期间农田土壤碳密度明显增加的结论不一致。这是否跟近10年来潜江市农田土壤碳库的急剧损失有关,还需要进一步分析。近30年来潜江市水田和旱地土壤有机碳库的变化截然相反,旱地土壤有机碳密度和储量略有增加,与郜继承等^[23]对江汉平原区旱地土壤有机碳库变化的认识相一致;而水田土壤有机碳密度和储量均呈减少趋势,其减少量分别为旱地土壤增量的5倍和6倍,直接导致了潜江市整个农田土壤碳密度和储量的降低。也就是说,潜江市水田土壤有机碳的变化趋势直接决定了潜江市农田土壤碳库的整体动向。潜江市水田土壤的这种碳损失现状与我国绝大多数关于水田土壤普遍呈固碳趋势,且固碳速率快于旱地的认识并不一致^[8-15]。此外,同一利用方式不同类型农田土壤有机碳储量的变化亦存在较大差异,这种差异既受到土壤有机碳密度变化的控制,也受到土壤类型面积的影响^[32]。比如潜育型水稻土的面积不足潜育型水稻土的1/3,鉴于其碳密度的下降速度是后者最大值的3倍之多,导致的碳损失量是后者的3倍。另外,灰潮土亚类的有机碳密度水平及其增量与潮土亚类相似,但因其所占潮土土类的面积最大,其碳增量在潮土土类碳增量中的份量占绝对主导地位。

导致不同类型水稻土有机碳密度与变化存在差异的因素比较复杂,可能跟土壤理化性状、初始有机碳水平以及管理措施等的交互作用有关^[33]。潜江市水稻土有机碳密度下降最多的是潜育型水稻土,其造成的碳储量损失占整个水稻土碳损失量的比例高达80%。这与文雅等^[34]对粤北山区潜育型水稻土有机碳随时间变化的趋势相一致。潜育型水

稻土是南方稻区广泛分布的低产水稻土,多分布在沟谷等排水条件差的低洼部位,具有还原性物质多、通气性差、供肥缓慢等障碍特点,直接影响水稻的根系发育并导致水稻的低产和减产^[35]。水稻残体的还田量是影响稻田土壤有机碳的主要因素^[13,36]。虽然潜育型水稻土有机质的矿化程度较低,初始有机碳密度较高,但长期耕作带来耕层土壤的不断人为扰动,可能会加速耕层土壤有机质的矿化损失,加之低产水稻生产下通过作物根系分泌和残茬等进入土壤的有机物质归还量较少,不能有效补充水稻收获从土壤中移走的有机物质,从而导致该类型水稻土有机碳密度的大幅下降。淹育型水稻土的有机碳密度略有增加,与许信旺等^[37]在安徽省贵池区淹育型水稻土有机碳随时间变化的趋势相同。这可能跟淹育型水稻土淹水时间不长,属幼年型水稻土,且土壤有机碳密度的初始水平在水稻土中属最低有关。前人已有关于SOC_D初始值对SOC_D年均变化具有反方向作用的报道,也即高有机碳初始值的农田土壤SOC_D降低速率反而更大^[32,38]。由于淹育型水稻土初始有机碳密度最低,而且淹育型水稻土所占水稻土的面积比例仅次于潜育型水稻土,若经过合理耕作管理等措施的改良,进一步提升土壤有机碳水平,对于潜江市水田土壤有机碳水平的提升具有重要作用。潜育型水稻土的植稻历史悠久,土壤熟化程度高,通常为高产田,植物残体归还量大,而且长期水耕熟化作用下有利于土壤有机碳的积累,土壤碳储量水平也相对较高^[39,40]。但是经过28a的常规耕作后,潜育型水稻土部分土属的土壤有机碳密度有轻微的下降趋势,这可能是由于潜育型水稻土的水分含量更适宜微生物的活动,同时干湿交替以及频繁地人为扰动(翻耕、水改旱等)提高了土壤呼吸强度,促进了有机碳的分解和转化,从而可能导致潜育型水稻土有机碳的损失^[41]。

4 结论

1983~2011年潜江市农田表层土壤有机碳储量共损失了9%,呈现“碳源”效应。这主要源于水田土壤有机碳的大量损失所致($52.83 \times 10^4 \text{ t}$),损失幅度为16%。相反,旱地土壤碳储量却呈轻微的“碳汇”效应,有机碳共增加了 $8.57 \times 10^4 \text{ t}$,增幅为5%,远不足以抵消水田土壤的碳损失。水田土壤有机碳的损失主要来自于低产潜育型水稻土碳密度的大幅下降以及面积比例最大的潜育型水稻土碳密度的轻微降低导致的碳储量损失,两者碳损失量占水

田土壤碳损失的比例分别为 80% 和 15%。今后需加强对潜江市低产水田进行改良, 避免进一步的碳损失, 并力保面积比例占据优势的土壤类型的有机质稳定与提升。

参考文献:

- [1] 郑聚锋, 程琨, 潘根兴, 等. 关于中国土壤碳库及固碳潜力研究的若干问题[J]. 科学通报, 2011, **56**(26): 2162-2173.
- [2] McBratney A, Field D J, Koch A. The dimensions of soil security [J]. *Geoderma*, 2014, **213**: 203-213.
- [3] 陈书涛, 刘巧辉, 胡正华, 等. 不同土地利用方式下土壤呼吸空间变异的影响因素[J]. 环境科学, 2013, **34**(3): 1017-1025.
- [4] Schmidt M W, Torn M S, Abiven S, *et al.* Persistence of soil organic matter as an ecosystem property [J]. *Nature*, 2011, **478**(7367): 49-56.
- [5] Pan G X, Xu X W, Smith P, *et al.* An increase in topsoil SOC stock of China's croplands between 1985 and 2006 revealed by soil monitoring [J]. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2010, **136**(1-2): 133-138.
- [6] Yan X Y, Cai Z C, Wang S W, *et al.* Direct measurement of soil organic carbon content change in the croplands of China [J]. *Global Change Biology*, 2011, **17**(3): 1487-1496.
- [7] Smith P. Land use change and soil organic carbon dynamics [J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2008, **81**(2): 169-178.
- [8] Huang Y, Sun W J. Changes in topsoil organic carbon of croplands in mainland China over the last two decades [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2006, **51**(15): 1785-1803.
- [9] Sun W J, Huang Y, Zhang W, *et al.* Estimating topsoil SOC sequestration in croplands of eastern China from 1980 to 2000 [J]. *Soil Research*, 2009, **47**(3): 261-272.
- [10] Zhang W J, Xu M G, Wang X J, *et al.* Effects of organic amendments on soil carbon sequestration in paddy fields of subtropical China [J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2012, **12**(4): 457-470.
- [11] Pan G X, Li L Q, Wu L S, *et al.* Storage and sequestration potential of topsoil organic carbon in China's paddy soils [J]. *Global Change Biology*, 2004, **10**(1): 79-92.
- [12] Yu Y Q, Huang Y, Zhang W. Projected changes in soil organic carbon stocks of China's croplands under different agricultural managements, 2011- 2050 [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2013, **178**: 109-120.
- [13] Wu J S. Carbon accumulation in paddy ecosystems in subtropical China: Evidence from landscape studies [J]. *European Journal of Soil Science*, 2011, **62**(1): 29-34.
- [14] 吴乐知, 蔡祖聪. 基于长期试验资料对中国农田表土有机碳含量变化的估算[J]. 生态环境, 2007, **16**(6): 1768-1774.
- [15] 张晓伟, 许明祥. 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[J]. 环境科学, 2013, **34**(7): 2793-2799.
- [16] 师晨迪, 许明祥, 邱宇洁, 等. 黄土丘陵区县域农田土壤近 30 年有机碳变化及影响因素研究: 以甘肃庄浪县为例[J]. 环境科学, 2014, **35**(3): 1098-1104.
- [17] 梁二, 蔡典雄, 代快, 等. 中国农田土壤有机碳变化: II 土壤固碳潜力估算[J]. 中国土壤与肥料, 2011, (6): 87-92.
- [18] 陶春军, 贾十军, 邢润华, 等. 安徽滁州地区土壤有机碳储量分布特征研究[J]. 资源调查与环境, 2013, **34**(1): 63-70.
- [19] 刘欢瑶, 周萍, 朱捍华, 等. 红壤丘陵景观土地利用变化对稻田土壤有机碳储量的影响[J]. 农业现代化研究, 2012, **33**(3): 359-362.
- [20] 张春华, 王宗明, 任春颖, 等. 松嫩平原玉米带农田土壤有机碳时空格局[J]. 农业工程学报, 2010, **26**(增刊 1): 300-307.
- [21] 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.
- [22] 黄山, 芮雯奕, 彭现宪, 等. 稻田转变为旱地下土壤有机碳含量及其组分的变化特征[J]. 环境科学, 2009, **30**(4): 1146-1151.
- [23] 邵继承, 潘根兴. 江汉平原不同土地利用和起源下农田土壤有机碳组分变化[J]. 水土保持学报, 2012, **26**(6): 153-157.
- [24] 汪明霞, 朱志锋, 刘凡, 等. 江汉平原不同土地利用方式下农田土壤有机碳组成特点[J]. 水土保持研究, 2012, **19**(6): 24-28.
- [25] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000. 30-33.
- [26] Song G H, Li L Q, Pan G X, *et al.* Topsoil organic carbon storage of China and its loss by cultivation [J]. *Biogeochemistry*, 2005, **74**(1): 47-62.
- [27] 许泉, 芮雯奕, 何航, 等. 不同利用方式下中国农田土壤有机碳密度特征及区域差异[J]. 中国农业科学, 2006, **39**(12): 2505-2510.
- [28] 潘根兴, 赵其国. 我国农田土壤碳库演变研究: 全球变化和国家安全[J]. 地球科学进展, 2005, **20**(4): 385-393.
- [29] Guo L P, Lin E. Carbon sink in cropland soils and the emission of greenhouse gases from paddy soils: A review of work in China [J]. *Chemosphere-Glob Change Science*, 2001, **3**(4): 413-418.
- [30] 许信旺, 潘根兴, 汪艳林, 等. 中国农田耕层土壤有机碳变化特征及控制因素[J]. 地理研究, 2009, **28**(3): 601-612.
- [31] 奚小环, 李敏, 张秀芝, 等. 中国中东部平原及周边地区土壤有机碳分布与变化趋势研究[J]. 地学前缘, 2013, **20**(1): 154-165.
- [32] 邵景安, 慧辽辽, 慈恩, 等. 1980-2011 年川东平行岭谷区农田土壤有机碳动态[J]. 生态学报, 2014, **34**(15): 4347-4360.
- [33] 阚泽忠, 金立新, 李忠惠, 等. 成都经济区不同地貌景观区土壤有机碳分布特征及储量估算[J]. 地球科学进展, 2012, **27**(10): 1126-1133.
- [34] 文雅, 邓南荣, 刘晓南, 等. 粤北山区近 25 年来耕地表层土壤有机碳变化分析[J]. 生态环境学报, 2011, **20**(8-9): 1247-1252.

- [35] 龚子同, 张效朴, 韦启璠. 我国潜育性水稻土的形成、特性及增产潜力[J]. 中国农业科学, 1990, **23**(1): 45-53.
- [36] 唐国勇, 彭佩钦, 苏以荣, 等. 洞庭湖区不同利用方式下农田土壤有机碳含量特征[J]. 长江流域资源与环境, 2006, **15**(2): 219-222.
- [37] 许信旺, 潘根兴, 孙秀丽, 等. 安徽省贵池区农田土壤有机碳分布变化及固碳意义[J]. 农业环境科学学报, 2009, **28**(12): 2551-2558.
- [38] 程先富, 史学正, 于东升, 等. 江西兴国县农田土壤固碳潜力 20a 变化研究[J]. 应用与环境生物学报, 2007, **13**(1): 37-40.
- [39] 龙军, 张黎明, 毛艳玲, 等. 福建省不同耕地土壤和土地利用类型对“碳源/汇”的贡献差异研究[J]. 土壤学报, 2013, **50**(4): 664-674.
- [40] 刘清, 孙波, 解宪丽, 等. 县域尺度红壤丘陵区水稻土有机碳模拟[J]. 土壤学报, 2009, **46**(6): 1059-1067.
- [41] 邵月红, 潘剑君, 孙波, 等. 农田土壤有机碳库大小及周转[J]. 生态学杂志, 2006, **25**(1): 19-23.

CONTENTS

Estimation of PM _{2.5} Concentration over the Yangtze Delta Using Remote Sensing: Analysis of Spatial and Temporal Variations	XU Jian-hui, JIANG Hong (3119)
Seasonal and Spatial Variations of Carbon Fractions in PM _{2.5} in Ningbo and the Estimation of Secondary Organic Carbon	DU Bo-han, HUANG Xiao-feng, HE Ling-yan, <i>et al.</i> (3128)
Concentrations of Acidic Gases, Ammonia and Related Water-Soluble Ions in PM _{2.5} and Gas-Particle Partitioning in Qingdao	ZHOU Jia-jia, SHI Jin-hui, LI Li-ping, <i>et al.</i> (3135)
Concentration and Particle Size Distribution of Microbiological Aerosol During Haze Days in Beijing	HU Ling-fei, ZHANG Ke, WANG Hong-bao, <i>et al.</i> (3144)
Air Quality Characteristics in Beijing During Spring Festival in 2015	CHENG Nian-liang, CHEN Tian, ZHANG Da-wei, <i>et al.</i> (3150)
Chemical Loss of Volatile Organic Compounds and Its Impact on the Formation of Ozone in Shanghai	WANG Hong-li (3159)
Removal of Waste Gas Containing Mixed Chlorinated Hydrocarbons by the Biotrickling Filter	CHEN Dong-zhi, MIAO Xiao-ping, OUYANG Du-juan, <i>et al.</i> (3168)
A Three Band Chlorophyll-a Concentration Estimation Model Based on GOCI Imagery	GUO Yu-long, LI Yun-mei, LI Yuan, <i>et al.</i> (3175)
Temporal and Spatial Distribution Characteristics of Dissolved Organic Matter and Influencing Factors in Lake Chaohu	YE Lin-lin, WU Xiao-dong, LIU Bo, <i>et al.</i> (3186)
Spectral Characteristic of Dissolved Organic Matter in Xiaohe River, Hebei	YU Min-da, ZHANG Hui, HE Xiao-song, <i>et al.</i> (3194)
Spatial Variation of Ammonia-N, Nitrate-N and Nitrite-N in Groundwater of Dongshan Island	WU Hai-yan, FU Shi-feng, CAI Xiao-qiong, <i>et al.</i> (3203)
Sources, Migration and Conversion of Dissolved Alkanes, Dissolved Fatty Acids in a Karst Underground River Water, in Chongqing Area	LIANG Zuo-bing, SUN Yu-chuan, WANG Zun-bo, <i>et al.</i> (3212)
Influence of Sulfuric Acid to Karst Hydrochemical and $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ in the Upper and Middle Reaches of the Wujiang River	HUANG Qi-bo, QIN Xiao-qun, LIU Peng-yu, <i>et al.</i> (3220)
Hydrochemical Characteristic and Reasoning Analysis in Siyi Town, Langzhong City	ZHANG Yan, WU Yong, YANG Jun, <i>et al.</i> (3230)
Seasonal Variation on Nutrient Limitation for Phytoplankton Growth in a Coastal River-Reservoir System, Southeast China	CHEN Cong-cong, RAO La, HUANG Jin-liang, <i>et al.</i> (3238)
Physiological Effect of <i>Vallisneria natans</i> Under Different Concentrations of Nitrogen, Phosphorus and Chloramphenicol	HU Zhen-zhen, CUI Yi-bin, LI Mei, <i>et al.</i> (3248)
Effects of Algicidal Substance on <i>Phaeocystis globosa</i> and Its Fatty Acids by the Simulation Experiment	YANG Qiu-chan, ZHAO Ling, YIN Ping-he, <i>et al.</i> (3255)
Agricultural Non-Point Source Pollutants Removal by Enhanced Riverbank Interception Facilities Under Different Operating Conditions	LI Huai-zheng, CHEN Ke-li, WEI Zhong, <i>et al.</i> (3262)
Speciation Distribution and Risk Assessment of Heavy Metals in Typical Material Roof Dusts	LI Dun-zhu, GUAN Yun-tao, LIU An, <i>et al.</i> (3269)
Formation of Disinfection By-Products During Chlor(am)ination of Danjiangkou Reservoir Water and Comparison of Disinfection Processes	ZHANG Min-sheng, XU Bin, ZHANG Tian-yang, <i>et al.</i> (3278)
Effects of Interaction of Ozonation and Coagulation on Coagulation Results	LIU Hai-long, GUO Xue-feng, WANG Min-hui, <i>et al.</i> (3285)
Effects of Anions on Bromate Formation During Ozonation of Bromide-Containing Water	WU Yue, WU Chun-de, LIU Li-gang, <i>et al.</i> (3292)
XAS Analysis upon Dissolved Species of Orpiment in Anoxic Environment	WANG Ying, XU Li-ying, WANG Shao-feng, <i>et al.</i> (3298)
AOX Pollution in Wastewater Treatment Process of Dyeing and Dyestuff Chemical Industries	SHEN Yang-yang, LIU Rui, XU Can-can, <i>et al.</i> (3304)
Fate of ARB and ARGs During Wastewater Treatment Process of Spiramycin Production	QIN Cai-xia, TONG Juan, SHEN Pei-hong, <i>et al.</i> (3311)
A Comparative Study on Two Membrane Bioreactors for the Treatment of Digested Piggyery Wastewater	SHUI Yong, Kawagishi Tomoki, SONG Xiao-yan, <i>et al.</i> (3319)
Analysis of Microbial Community in the Membrane Bio-Reactor (MBR) Rural Sewage Treatment System	KONG Xiao, CUI Bing-jian, JIN De-cai, <i>et al.</i> (3329)
Start-up Characteristics of Four-zone Integrated Reactor for Nitrogen Removal in Winter and Analysis of Nitrobacteria Community	ZHANG Yan, SUN Feng-xia, XIE Hang-ji, <i>et al.</i> (3339)
Achievement of Sulfate-Reducing Anaerobic Ammonium Oxidation Reactor Started with Nitrate-Reducing Anaerobic Ammonium Oxidation	LIU Zheng-chuan, YUAN Lin-jiang, ZHOU Guo-biao, <i>et al.</i> (3345)
Effect of Increasing Organic Loading Rate on the Formation and Stabilization Process of Aerobic Granular Sludge	LIU Xiao-peng, WANG Jian-fang, QIAN Fei-yue, <i>et al.</i> (3352)
Nitrogen Loss Through Different Ways in Cropland Under Conventional Fertilization: An <i>In-situ</i> Study of Summer Maize Season in the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River	SANG Meng-meng, FAN Hui, JIANG Shan-shan, <i>et al.</i> (3358)
Effects of Water and Nitrogenous Fertilizer Coupling on CH ₄ and N ₂ O Emission from Double-Season Rice Paddy Field	FU Zhi-qiang, LONG Pan, LIU Yi-yi, <i>et al.</i> (3365)
Characteristics of N ₂ , N ₂ O, NO, CO ₂ and CH ₄ Emissions in Anaerobic Condition from Sandy Loam Paddy Soil	CAO Na, WANG Rui, LIAO Ting-ting, <i>et al.</i> (3373)
Characteristics of Soil Respiration along Eroded Sloping Land with Different SOC Background on the Hilly Loess Plateau	CHEN Gai, XU Ming-xiang, ZHANG Ya-feng, <i>et al.</i> (3383)
Effect of Biochar on Soil Greenhouse Gas Emissions in Semi-arid Region	GUO Yan-liang, WANG Dan-dan, ZHENG Ji-yong, <i>et al.</i> (3393)
Characteristics and Coupling Relationship of Soil Carbon and Nitrogen Transformation During <i>In-situ</i> Mineralization Cultivation in Forestlands in the Mountain Area of Southern Ningxia	NI Yin-xia, HUANG Yi-mei, NIU Dan, <i>et al.</i> (3401)
Nitrogen Fraction Distributions and Impacts on Soil Nitrogen Mineralization in Different Vegetation Restorations of Karst Rocky Desertification	HU Ning, MA Zhi-min, LAN Jia-cheng, <i>et al.</i> (3411)
Distribution and Dynamics of Cropland Soil Organic Carbon in Jiangnan Plain: A Case Study of Qianjiang City	WANG Yu-zhu, XIAO He-ai, ZHOU Ping, <i>et al.</i> (3422)
Impact of Land Utilization Pattern on Distributing Characters of Labile Organic Carbon in Soil Aggregates in Jinyun Mountain	LI Rui, JIANG Chang-sheng, HAO Qing-ju (3429)
Magnetic Responses of Heavy Metals in Street Dust of Typical Mine-Based City, Northwest China	NIE Yan, WANG Xin, WANG Bo, <i>et al.</i> (3438)
Distribution Characteristics of Heavy Metals in Environmental Samples Around Electroplating Factories and the Health Risk Assessment	GUO Peng-ran, LEI Yong-qian, ZHOU Qiao-li, <i>et al.</i> (3447)
Homologues Levels and Distribution Pattern of Polychlorinated Biphenyls in Typical Capacitor Contaminated Soil	LIU Jie, LI Xiao-dong, ZHAO Zhong-hua, <i>et al.</i> (3457)
Adsorption and Desorption Characteristics of Endosulfan in Purple Soil	ZHAO Yan, ZHENG Guo-can, ZHU Heng, <i>et al.</i> (3464)
Influence of <i>Mirabilis jalapa</i> Linn. Growth on the Microbial Community and Petroleum Hydrocarbon Degradation in Petroleum Contaminated Saline-alkali Soil	JIAO Hai-hua, CUI Bing-jian, WU Shang-hua, <i>et al.</i> (3471)
Al ³⁺ Absorption and Assimilation by Four Ectomycorrhizal Fungi	WANG Ming-xia, YUAN Ling, HUANG Jian-guo, <i>et al.</i> (3479)
Contamination of Organophosphorus Pesticides Residue in Fresh Vegetables and Related Health Risk Assessment in Changchun, China	YU Rui, LIU Jing-shuang, WANG Qi-cun, <i>et al.</i> (3486)
Community Structure and Succession of Methanogens in Beishenshu Landfill, Beijing	SONG Li-na, WANG Lei, XIA Meng-jing, <i>et al.</i> (3493)
Fertility and Environmental Impacts of Urban Scattered Human Feces Used as Organic Granular Fertilizer for Leaf Vegetables	LÜ Wen-zhou, QIAO Yu-xiang, YU Ning, <i>et al.</i> (3501)
Degradation of PCDD/Fs by the Mixture of V ₂ O ₅ -WO ₃ /TiO ₂ Catalyst and Activated Carbon	REN Yong, JI Sha-sha, YU Ming-feng, <i>et al.</i> (3508)
Energy Conservation and Emissions Reduction Benefits Analysis for Battery Electric Buses Based on Travel Services	LIN Xiao-dan, TIAN Liang, LÜ Bin, <i>et al.</i> (3515)
Definition and Control Indicators of Volatile Organic Compounds in China	JIANG Mei, ZOU Lan, LI Xiao-qian, <i>et al.</i> (3522)
Influence of Dissimilatory Iron Reduction on the Speciation and Bioavailability of Heavy Metals in Soil	SI You-bin, WANG Juan (3533)

《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 刘 毅 汤鸿霄 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)

2015年9月15日 第36卷 第9期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 9 Sep. 15, 2015

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: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行