

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, 刘阁, 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, 张玫琪, 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 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 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, 贾永峰 (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, 沈耀良 (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 N ₂ 、N ₂ O、NO、CO ₂ 和 CH ₄ 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)
宁南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 Al ³⁺ 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)
V ₂ O ₅ -WO ₃ /TiO ₂ 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)	

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¹, 陈珂莉¹, 危忠², 王卫刚¹

(1. 同济大学长江水环境教育部重点实验室, 上海 200092; 2. 中南建筑设计院股份有限公司, 武汉 430071)

摘要: 对坡岸截留强化处理设施在不同温度、不同雨强、不同降雨间隔条件下处理农业面源污染进行中试试验研究。结果表明, 水温从20℃下降至4.3℃, COD、TN、NH₄⁺-N、TP去除率下降了15.58%、48.93%、42.26%、57.75%; 降雨强度由0.65 mm·min⁻¹增加1倍至1.30 mm·min⁻¹, COD的平均去除率低了15.19%, TN、NH₄⁺-N的去除效率相当, TP的去除效率提高了11.21%, 但COD、TN、NH₄⁺-N、TP单位面积去除的总量却提高了26.27%、68.3%、32.6%、104.2%; 降雨间隔从2 d增加到4 d时对COD去除的影响不大, 但使NH₄⁺-N、TN的处理效率提高19.31%、13.95%, 对TP的单位面积去除量提高71.43%, 但去除总量有限。

关键词: 农业面源污染; 坡岸截留强化处理设施; 温度; 降雨强度; 降雨间隔

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)09-3262-07 DOI: 10.13227/j.hjks.2015.09.018

Agricultural Non-Point Source Pollutants Removal by Enhanced Riverbank Interception Facilities Under Different Operating Conditions

LI Huai-zheng¹, CHEN Ke-li¹, WEI Zhong², WANG Wei-gang¹

(1. Key Laboratory of Yangtze River Water Environment, Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Central-South Architectural Design Institute Co., Ltd., Wuhan 430071, China)

Abstract: Treatment of agricultural non-point source pollution in a pilot scale by enhanced riverbank interception facilities with different temperatures, rainfall intensities and rainfall interval conditions was investigated. The results showed that if water temperature decreased from 20 degrees to 4.3 degrees, the removal efficiencies of COD, TN, NH₄⁺-N, TP decreased by 15.58%, 48.93%, 42.26%, 57.75% respectively, and no significant effect on the removal of SS was found. If rainfall intensity increased doubled from 0.65 mm·min⁻¹ to 1.30 mm·min⁻¹, it made the average removal rate of COD decrease 15.19%, TN, NH₄⁺-N did not change and removal efficiency of TP increased 11.21%. But the total removed quantity per unit area of COD, TN, NH₄⁺-N, TP increased by 26.27%, 68.3%, 32.6%, and 104.2%. If rainfall interval increased from 2 to 4 days, it would make NH₄⁺-N, TN removal efficiencies increase by 19.31%, 13.95% respectively, and the removed quantity per unit area of TP increased 71.43%, but the total removal quantity of TP was limited.

Key words: agricultural non-point source pollution; enhanced riverbank interception facilities; temperature; rainfall intensity; rainfall interval

目前,在世界范围内农业面源污染已被列为河流污染的主要来源之一,成为全世界共同关注的一个严重环境问题。国内外对农业面源污染控制的生态工程技术主要有缓冲带技术^[1,2]、人工湿地处理技术^[3,4]、多水塘技术^[5]、土壤渗滤技术^[6]、土壤促渗技术^[7]等。其中,缓冲带技术与人工湿地技术在农业面源污染控制中应用较为广泛^[8,9],具有投资省、运行成本低、操作维护简单等优点。

在江南水网地区的农村,农田与受纳水体之间的坡岸缓冲带的宽度较窄,对污染物去除效果有限^[10]。因此,本研究将利用一种新型的处理设施——坡岸截留强化处理设施,即在坡岸带添加人工湿地基质,实现缓冲带与潜流湿地的结合,使一部

分农田径流通过潜层渗流的方式进入人工湿地系统,从而降低对缓冲带的冲击负荷,延长径流停留时间,提高径流污染物去除率。

坡岸截留强化处理设施对污染物的去除机制与滨岸缓冲带、人工湿地基本相同。而据国内外研究发现人工湿地对污染物的去除效果会受到不同运行条件如温度、水力负荷、污染物负荷等的影响^[11]。Nivala等^[12]发现水平潜流湿地在夏天对有机物、氨氮的处理效果要高于冬天; Tunçsiper等^[13]研究结果也显示垂直潜流湿地和水平潜流湿地在低温条件

收稿日期: 2014-12-16; 修订日期: 2015-04-27

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2012BAJ21B06-04)

作者简介: 李怀正(1962~),男,研究员,主要研究方向为面源污染控制及河道整治技术, E-mail: lihzh@tongji.edu.cn

下对生活污水的处理效果都降低,且垂直潜流湿地的去除率要低于水平潜流湿地.在水力条件方面,水力负荷的提高,对人工湿地污染物去除效果表现出不同的情况,且污染物不同,影响情况也不同^[14]. Calherios 等^[15]设计了两套不同水力负荷的水平潜流湿地,发现当水力负荷从 $6\text{ cm}\cdot\text{d}^{-1}$ 提高到 $18\text{ cm}\cdot\text{d}^{-1}$ 时,出水 COD 浓度从 $\geq 242\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 增大到 $\geq 610\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (进水 COD $\geq 610\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$),而出水氨氮浓度却有所降低.此外,水力停留时间(HRT)对 N、P 和 BOD 的去除效果影响不同. Huang 等^[16]研究表明延长 HRT 有利于提高人工湿地系统的脱氮效率,且随着 HRT 的延长,系统中 TN、 NH_4^+-N 、TKN 的浓度呈指数降低,并且人工湿地系统中所去除的 NH_4^+-N 、TKN 有 97% 的去除量与停留时间有关,但同时也指出当湿地中主要为厌氧环境时,大幅提高 HRT 可能不能促进硝态氮的去除率.另外,HRT 的延长会降低 BOD 的去除率^[14]. Ayaz^[17]指出 HRT 超过两天后,水平潜流湿地对 BOD 的去除效果不明显.由此不难看出,在实际运行中,有必要对设施的最佳工况进行探究,以提高污染物的去除效果.

本研究将通过研究不同温度、不同降雨强度条件、不同降雨间隔下处理设施出水水质随时间变化过程,分析污染物去除的机制,探讨农业面源污染处理的最佳技术参数,以期为江南水网地区农村的农业面源污染处理提供实践参考以及技术支持.

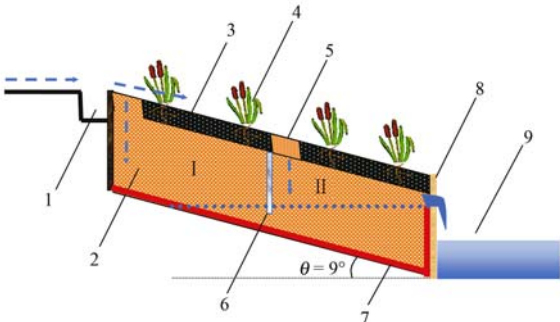
1 材料与方法

1.1 试验装置

坡岸截留强化处理装置剖面如图 1 所示,沿坡岸长 3 m,沿坡面宽 3.3 m,每套装置由集水渠、砂土层、基质层、土壤层、植被层、隔板、防渗膜、配水渠组成.集水渠修建在农田末端靠近装置一侧,宽 20 cm,深 10 cm,另外在靠近河岸的一侧用木桩护坡,可使最终经过处理的水通过木桩间空隙流入河道.装置植物主要选择当地常见种,并考虑其对坡岸截留强化处理设施去除污染物的效果,最终选择金鸡菊(*Coreopsis drummondii* Torr. et Gray),种植

密度为 $6\text{ 株}\cdot\text{m}^{-2}$.装置基质层在对比了不同基质高度的坡岸截留强化处理设施对污染物去除效果的基础上,选择基质高度 60 cm,装填 5~10 mm 瓜子片,孔隙率为 35%,表面覆土采用 1:1 的砂土,高度为 20 cm.

坡岸截留强化处理设施对农业面源径流污染物处理的基本过程为:当降雨所形成的径流较小时,受径流污染的水进入集水渠后均匀溢流,进入基质层,整个基质层分为 I、II 两个区,两区之间采用挡水隔板将其分开,面源污染水先进入 I 区后通过隔板下部狭缝进入 II 区;当降雨所形成的径流增大时,受径流污染的水进入集水渠后均匀溢流,部分进入基质层,部分沿表面覆土径流,在二次配水渠处进入基质层,从而达到根据降雨强度大小自动调节形成表面流及潜流,以增加径流在基质间停留时间的目的.



1. 集水沟; 2. 基质(5~10 mm 瓜子片); 3. 表面覆土(砂土); 4. 植物; 5. 二次配水渠; 6. 挡板; 7. 防渗膜; 8. 木桩; 9. 河流

图 1 坡岸截留设施剖面示意

Fig. 1 Profile of enhanced riverbank interception facility

1.2 试验方法

1.2.1 不同温度条件下坡岸截留强化设施对污染物去除效果研究

不同季节变化对坡岸截留强化处理设施面源污染物的净化效果产生影响,本研究模拟 2 h 降雨量为 156 mm、平均降雨强度为 $1.3\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ 、隔天进水的条件下,通过坡岸截留强化处理设施高温试验工况和低温试验工况的对比试验,分析温度对系统处理效果的影响及作用机制,以期为该技术在寒冷地区的应用提供参考依据.进水取自于与农田相近的河道,水质见表 1.

表 1 进水水质浓度(平均值 ± 标准误差)

Table 1 Water quality of influent under different temperatures (mean value ± standard deviation)

工况	气温/℃	水温/℃	COD/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	$\text{NH}_4^+-\text{N}/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	TN/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	TP/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
高温	20.3 ± 0.9	18.0 ± 0.2	74.6 ± 7.7	1.22 ± 0.52	4.10 ± 0.21	1.65 ± 0.47
低温	4.3 ± 2.4	6.0 ± 1.0	50.6 ± 0.2	1.83 ± 0.27	11.51 ± 1.27	0.92 ± 0.33

1.2.2 不同降雨强度下的坡岸截留强化处理设施对污染物的去除效果研究

不同的降雨强度引起的地表径流量不同即处理设施进水流量不同,会对处理设施净化污染物的效果产生影响. 本研究模拟 2 h 降雨量为 156 mm、平均降雨强度为 1.3 mm·min⁻¹以及 2 h 降雨量为 78

mm、平均降雨强度为 0.65 mm·min⁻¹的条件下(其中 1.3 mm·min⁻¹雨强下径流理论水力停留时间为 0.56 h, 0.65 mm·min⁻¹下理论水力停留时间为 1.12 h),通过坡岸截留强化处理设施的处理,分析不同降雨强度对系统处理效果的影响及作用机制,进水取自于与农田相近的河道,水质见表 2.

表 2 进水水质浓度(不同降雨强度)¹⁾

Table 2 Water quality of influent under different rainfall intensities

工况	气温/℃	水温/℃	COD/mg·L ⁻¹	NH ₄ ⁺ -N/mg·L ⁻¹	TN/mg·L ⁻¹	TP/mg·L ⁻¹
雨强(1.30 mm·min ⁻¹)	12.0±0.7	11.5±0.3	157.1±1.8	1.11±0.04	5.06±0.09	0.36±0.02
雨强(0.65 mm·min ⁻¹)	7.3±1.1	6.3±1.2	166.9±2.1	1.68±0.24	6.02±0.19	0.48±0.02

1) 平均值±标准误差

1.2.3 不同降雨间隔下的坡岸截留强化处理设施对污染物的去除效果研究

降雨污染径流具有晴天累积、雨天排放的特点,因此,不同的降雨时间间隔会对坡岸截留强化处理设施的处理效果产生影响. 本研究通过污染模拟

2 h 降雨量为 156 mm、平均降雨强度为 1.3 mm·min⁻¹的条件下,通过坡岸截留强化处理设施的处理,分析不同降雨时间间隔对系统处理效果的影响及作用机制. 进水取自于与农田相近的河道,水质见表 3.

表 3 进水水质浓度(不同降雨间隔)¹⁾

Table 3 Water quality of influent under different rainfall intervals

工况	气温/℃	水温/℃	COD/mg·L ⁻¹	NH ₄ ⁺ -N/mg·L ⁻¹	TN/mg·L ⁻¹	TP/mg·L ⁻¹
间隔 2 d	11.9±0.8	11±0.4	157.1±1.8	1.11±0.04	5.06±0.08	0.36±0.02
间隔 4 d	9.6±0.9	8.0±0.7	138.5±2.2	1.22±0.52	5.90±0.07	0.61±0.01

1) 平均值±标准误差

1.3 水样监测与分析

在模拟降雨进水 8~10 min 后,坡岸截留强化处理设施中木桩间隙开始有水渗出,因此,取样时间统一按照 10 min 后开始取样,之后取样的时间为 20、30、50、70、90、120 min,每次取样 500 mL,水样保存后立即分析.

试验选择的主要分析指标为 COD、NH₄⁺-N、TN、TP、温度,其中 COD 采用标准重铬酸钾滴定法(GB 11901-89)测定,NH₄⁺-N 采用纳氏试剂分光光度法(GB 7479-87)测定,TN 采用碱性过硫酸钾-溶

解紫外分光光度法(GB 11894-89)测定,TP 采用钼酸铵分光光度法(GB 11893-89)测定,温度采用温度计现场测定.

2 结果与讨论

2.1 不同温度条件下坡岸截留强化设施对污染物的去除效果

表 4 显示了不同温度下坡岸截留强化处理设施污染物去除率随时间变化的多组平行试验数据的统计结果.

表 4 不同温度下坡岸截留强化处理设施污染物去除效果(平均值±标准误差)/%

Table 4 Pollutants removal of enhanced riverbank interception under different temperatures (mean value±standard deviation)/%

项目	工况	10 min	20 min	30 min	50 min	70 min	90 min	120 min
COD	高温	57.74±8.65	57.35±2.67	41.53±10.75	43.29±8.84	39.12±23.13	42.27±12.82	34.31±15.24
	低温	26.62±22.62	23.87±18.23	20.54±24.88	26.35±9.86	29.65±5.64	53.51±9.23	39.57±10.09
NH ₄ ⁺ -N	高温	67.98±12.64	74.05±10.44	69.48±8.03	61.72±16.08	72.20±12.32	45.20±19.47	65.14±13.08
	低温	39.60±29.92	36.96±20.18	36.19±16.19	16.35±6.03	3.23±5.81	14.72±0.52	2.69±3.98
TN	高温	75.07±7.92	78.90±1.38	66.25±9.23	68.13±6.15	50.00±8.19	31.05±7.91	45.12±1.19
	低温	15.16±12.84	7.58±13.13	4.19±6.73	12.04±1.09	11.35±3.70	12.23±2.59	2.87±8.34
TP	高温	89.88±1.90	89.99±2.76	81.92±6.77	81.49±7.62	78.03±9.95	71.24±10.66	69.40±5.70
	低温	13.35±17.54	30.51±25.52	25.95±19.88	4.33±5.11	18.27±14.06	19.75±7.67	20.69±7.32

从表4 COD 去除情况可以看出,在2 h 的降雨历时内,坡岸截留强化处理设施在高温工况下对有机污染物的去除效率优于低温工况($P < 0.1$),平均去除率提高了15.58%,单位面积COD 去除量提高了1.2 倍。此外,根据COD 去除率随降雨时间变化趋势[图2(a)],发现随着降雨时间的增加,高温工况下COD 的去除率在30 min 出现拐点,之后趋于平稳,而低温工况COD 的去除率在30 min 也出现拐点,之后逐渐上升,在70 min 以后,高温工况和低温工况的处理设施对COD 的平均去除率基本相同,分别为41.06% 和40.89%。这主要是由于植物吸收和基质吸附的速率与温度呈正相关,高温工况下植物吸收和基质吸附容量在30 min 后趋于饱和,虽然有微生物去除COD

进行弥补,但总去除率下降。而低温工况的处理设施植物吸收和基质吸附速率低,但吸收和吸附容量还在,当微生物去除COD 的作用逐渐增强后,表现为COD 总的去除率增加。因此可以看出在30 min 之前处理设施去除COD 主要是依靠植物的吸收、基质的吸附作用,而30 min 以后,当植物的吸收、基质的吸附作用减弱后,微生物去除COD 的作用逐渐增强。而70 min 后,无论是高温工况还是低温工况COD 的去除都是主要依靠微生物来完成^[18]。由于坡岸截留强化处理设施设于地下,在低温条件下具有保温作用,且比高温时具有更好的供氧能力^[19],因此,低温工况的处理设施对COD 的去除率与高温工况的处理设施对COD 的去除率相当。

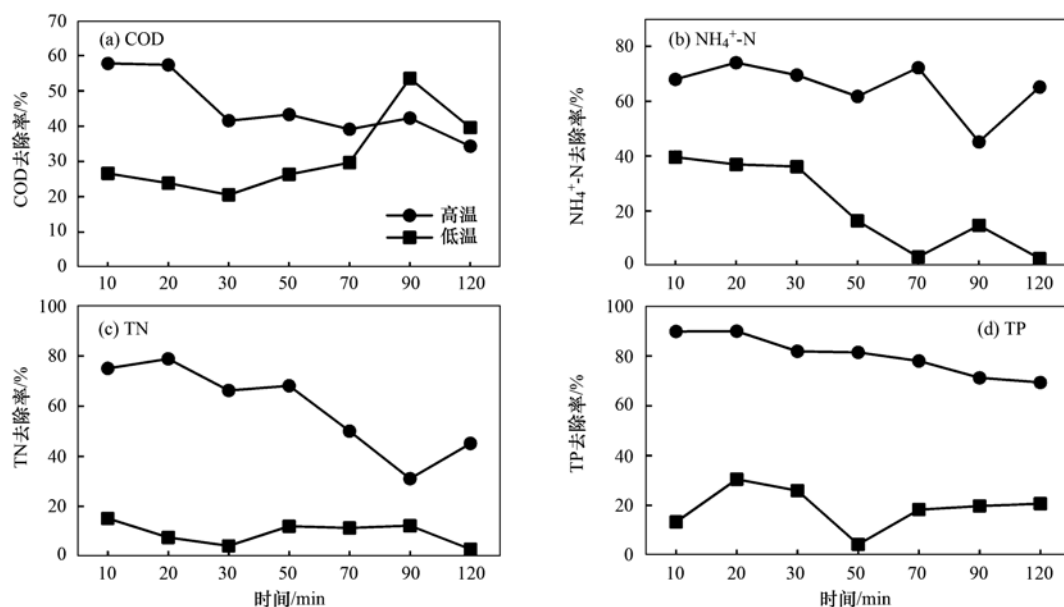


图2 不同温度下坡岸截留强化处理设施污染物去除效果

Fig. 2 Pollutants removal of enhanced riverbank interception under different temperatures

从表4 TN 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的去除率情况可以看出,坡岸截留强化处理设施在高温工况对TN、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的去除效率明显优于低温工况($P < 0.05$),平均去除率分别提高了48.93%、42.26%,单位面积TN、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的去除量分别提高了100%、90%。温度对脱氮的影响主要在于对微生物硝化作用以及对植物吸收和基质吸附的影响。微生物的硝化作用是一个极具温度敏感性的过程,一般认为,硝化反应的适宜温度为20~30℃,低于15℃时,反应速度迅速下降,5℃时代周期高达1 500~2 000 h,反应几乎完全停止^[20]。而对于反硝化过程,Kuschk 等^[21]的研究认为温度低于15℃时,湿地系统反硝化速率明显下

降。因此在本研究低温工况下,可以认为微生物脱氮作用不明显。另外温度对植物的生长及基质的吸附状态影响很大,温度的降低会降低植物对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的吸收能力及基质对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的吸附能力^[18],从而大大降低了系统对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的去除率。

从图2(b)可以发现,在低温条件下,30 min 后 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 去除速率急剧下降,并在70 min 后平均去除率低于5%,说明低温条件下对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的去除主要是植物、基质的吸收和吸附;而在高温条件下,70 min 后 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 平均去除速率下降了20%左右,但仍有较高去除率,说明高温条件下微生物的作用是后期去除 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的主要原因。从图2(c)可以发现,在

高温条件下,50 min 后 TN 的去除率开始下降,并在 70 min 后平均去除率稳定在 42% 左右,说明运行后期微生物的反硝化作用加强,部分弥补了前期植物吸收和基质吸附拦截 TN 饱和后所引起的去除率下降.

从表 4 TP 去除率情况发现,坡岸截留强化处理设施在高温工况对 TP 的去除效率明显优于低温工况($P < 0.05$),平均去除率提高了 57.75%,单位面积 TP 的去除量提高了 4.79 倍. 已有研究表明人工

湿地中 70% ~ 80% 的磷是通过吸附和沉淀去除的^[22],而温度对土壤及基质的物理吸附影响较大,由此不难看出,本研究中总磷的去除主要是由植物的吸收和基质的拦截吸附等物化作用来完成^[23].

2.2 不同降雨强度下的坡岸截留强化处理设施对污染物的去除效果

表 5 显示了不同降雨强度下坡岸截留强化处理设施污染物去除率变化的多组平行试验数据的统计结果.

表 5 不同降雨强度下坡岸截留强化处理设施污染物去除效果(平均值 ± 标准误差)/%

Table 5 Pollutants removal of enhanced riverbank interception under different rainfall intensities (mean value ± standard deviation)/%

项目	雨强	10 min	20 min	30 min	50 min	70 min	90 min	120 min
COD	1.30 mm·min ⁻¹	42.22 ± 1.19	41.04 ± 0.21	35.53 ± 4.24	33.71 ± 6.41	26.48 ± 7.01	18.21 ± 5.96	19.25 ± 8.20
	0.65 mm·min ⁻¹	61.82 ± 0.89	54.69 ± 4.09	50.57 ± 4.07	50.65 ± 2.56	39.40 ± 4.46	34.92 ± 5.17	30.84 ± 4.11
NH ₄ ⁺ -N	1.30 mm·min ⁻¹	42.16 ± 11.38	45.36 ± 11.23	55.87 ± 14.63	46.09 ± 16.53	49.42 ± 16.81	47.93 ± 13.96	42.73 ± 15.34
	0.65 mm·min ⁻¹	43.95 ± 5.69	45.24 ± 3.90	45.65 ± 3.21	37.51 ± 15.91	49.59 ± 4.40	45.34 ± 13.34	50.33 ± 11.30
TN	1.30 mm·min ⁻¹	78.70 ± 2.31	75.25 ± 4.57	71.73 ± 4.92	45.25 ± 7.79	44.52 ± 1.42	39.94 ± 1.47	43.42 ± 6.27
	0.65 mm·min ⁻¹	50.49 ± 1.47	60.04 ± 5.23	57.42 ± 4.90	57.66 ± 3.76	58.41 ± 5.06	54.77 ± 11.15	58.15 ± 5.19
TP	1.30 mm·min ⁻¹	62.63 ± 3.63	61.02 ± 4.61	51.72 ± 5.33	49.83 ± 5.45	53.42 ± 8.99	54.20 ± 1.22	60.49 ± 1.14
	0.65 mm·min ⁻¹	35.44 ± 2.01	40.61 ± 4.47	45.89 ± 4.67	50.63 ± 3.62	43.45 ± 1.69	50.54 ± 3.07	50.02 ± 3.62

从表 5 中 COD 去除情况可以看出,虽然平均雨强为 1.30 mm·min⁻¹ 下 COD 的总平均去除率比平均雨强为 0.65 mm·min⁻¹ 下的 COD 的总平均去除率低 15.19%,但其单位面积去除的总量却高了 2.43 g·m⁻²,相当于提高了 26.27%. 说明当进水流量变大时,相应水力停留时间变短,系统中的 COD 被植物根系、基质表面的生物膜吸附的时间短,部分吸附在生物膜表面的 COD 被降解的时间也短,使其去除效率低,但因其流量大,COD 去除总量并不低.

在表 5 中通过对比不同降雨强度下对 NH₄⁺-N、TN 去除率,发现 TN、NH₄⁺-N 的平均去除效率相当,但 1.30 mm·min⁻¹ 的降雨强度下对 NH₄⁺-N 的去除总量比 0.65 mm·min⁻¹ 的降雨强度下增加了 32.6%,对 TN 的去除总量增加了 68.3%,说明降雨强度的增加能提高 NH₄⁺-N、TN 的去除总量. 此外,当降雨强度大时,其前期 TN 的去除率高,30 min 以后,其去除率下降 26.48%. 而当降雨强度小时,其 TN 去除率比较平稳. 据研究发现,在高水力负荷下湿地拦截对 TN 去除影响较大,且前期作用较强^[24]. 因此湿地系统内布水均匀性将影响 TN 的去除. 当流量较大时,初期布水相对更为均匀,表面流和表面下渗潜流同时作用,充分发挥了滨岸缓冲带和潜流人工湿地的优势,使非溶解性的氮被土壤、基质拦截.

但随着不可滤成分的累积,处理设施内基质垂直沿程空隙率发生变化^[25],容易造成局部穿透,出现短流现象,拦截效果变差,去除率下降. 而降雨强度小,处理设施初始布水不均匀,会出现局部的短流现象,并且表面下渗量大,未充分发挥滨岸缓冲带的作用. 随着局部土壤、基质空隙变小后,水流会因阻力增加自动减少原来流经区域的流量,流向原来不流过的区域,表现为 TN 去除率比较平稳. 这也可以由 NH₄⁺-N(只有溶解态)在不同雨强下其去除率比较平稳来得以验证.

在表 5 中通过对不同降雨强度下对 TP 去除率的比较发现,平均雨强为 1.30 mm·min⁻¹ 比平均雨强为 0.65 mm·min⁻¹ 对 TP 的去除效率提高了 11.21%,其对 TP 的去除总量也增加了 0.025 g·m⁻²,几乎提高了 1 倍. 通过对磷的进出水进行溶解性与非溶解性指标检测发现,磷的去除以非溶解性为主,说明磷的去除以基质的拦截过滤作用为主,同时也依靠植物吸收和土壤的吸附完成. 对拦截过滤来讲,雨强的大小对处理设施流量的均布及避免短流起着决定作用,同时也影响处理效果. 由于平均雨强为 1.30 mm·min⁻¹ 和 0.65 mm·min⁻¹ 的表面滤速分别为 0.12 m·h⁻¹ 和 0.06 m·h⁻¹,而该滤速对瓜子片滤料来讲显然太小,容易造成短流,因此雨强大时对拦截过滤

效果会更好.

2.3 不同降雨间隔下的坡岸截留强化处理设施对污染物的去除效果

表 6 显示了不同降雨间隔下坡岸截留强化处理设施污染物去除率变化的多组平行试验数据的统计结果.

表 6 不同降雨间隔坡岸截留强化处理设施污染物去除效果(平均值 ± 标准误差)/%

Table 6 Pollutants removal of enhanced riverbank interception under different rainfall intervals(mean value ± standard deviation)/%								
项目	工况	10 min	20 min	30 min	50 min	70 min	90 min	120 min
COD	间隔 2 d	42.22 ± 1.19	41.04 ± 0.21	35.53 ± 4.24	33.71 ± 6.41	26.48 ± 7.01	18.21 ± 5.96	19.25 ± 8.20
	间隔 4 d	54.11 ± 0.18	48.70 ± 0.48	43.75 ± 0.87	35.82 ± 4.49	36.95 ± 4.83	27.77 ± 5.69	20.03 ± 2.23
NH ₄ ⁺ -N	间隔 2 d	42.16 ± 11.38	45.36 ± 11.23	55.87 ± 14.63	46.09 ± 16.53	49.42 ± 16.81	47.93 ± 13.96	42.73 ± 15.34
	间隔 4 d	67.98 ± 12.64	74.05 ± 10.44	69.48 ± 8.03	61.72 ± 16.08	72.20 ± 12.32	45.20 ± 19.47	65.14 ± 13.08
TN	间隔 2 d	78.70 ± 2.31	75.25 ± 4.57	71.73 ± 4.92	45.25 ± 7.79	44.52 ± 1.42	39.94 ± 1.47	43.42 ± 6.27
	间隔 4 d	67.78 ± 2.37	72.06 ± 2.17	73.83 ± 2.25	74.86 ± 2.50	75.32 ± 0.96	71.72 ± 0.17	60.91 ± 3.04
TP	间隔 2 d	62.63 ± 3.63	61.02 ± 4.61	51.72 ± 5.33	49.83 ± 5.45	53.42 ± 8.99	54.20 ± 1.22	60.49 ± 1.14
	间隔 4 d	51.83 ± 2.70	55.65 ± 1.44	58.21 ± 1.18	60.65 ± 3.61	60.31 ± 1.35	57.17 ± 2.09	57.49 ± 1.92

从表 6 可以看出,降雨间隔从 2 d 提高到 4 d 时,COD 的处理效率仅提高了 7.24%,单位面积去除量仅提高了 1.02 g·m⁻²,增长了 8.73%,说明短时间的降雨间隔延长对 COD 的去除影响不大,同时也说明设施中存在的微生物在短时间的降雨间隔期内就可将基质吸附以及拦截下来的溶解性及不溶解性有机物进行分解,并加以同化利用,从而保证设施具有持续净化污染物的能力.

对NH₄⁺-N、TN 的去除而言,降雨间隔延长到 4 d 后,其处理效率分别提高了 19.31%、13.95%,单位面积去除量提高了 0.07 g·m⁻²、0.31 g·m⁻²,增长了 58.33%、44.93%,说明短期的降雨间隔延长对NH₄⁺-N、TN 的去除率和去除量影响较大.降雨间隔的增加,一方面为硝化细菌分解同化被吸附拦截的污染物提供时间,另一方面改善处理设施内氧环境状况^[26],进而为硝化细菌完全氧化NH₄⁺-N创造条件.同时,NH₄⁺-N氧化为 NO_x-N 后,为反硝化的进行奠定了基础,使截留在设施内部的氮能得到去除,为后续运行时基质的拦截、吸附作用提供更多空间,使得处理设施对氮的去除率得到了一定的提升.

从表 6 可以看出,降雨间隔延长到 4 d 后,坡岸截留强化设施对 TP 的去除率增加了 0.98%,单位面积去除量增加了 0.035 g·m⁻²,增长了 71.43%,说明短时的降雨间隔延长对 TP 的去除有影响,主要是因为间隔时间变长使植物对基质、土壤拦截、吸附的磷素进行吸收,为基质再次拦截、吸附磷素提供了空间.但是对于磷素不能像氮素一样通过转变成气体而从系统中去除,所以间隔运行时去除总量有限^[14].

3 结论

(1)当平均温度从 20℃ 下降至 4.3℃ 时,坡岸截留强化处理设施对 COD、TN、NH₄⁺-N、TP 去除率分别下降了 15.58%、48.93%、42.26%、57.75%.因此,温度对以微生物和物理吸附作用为主进行水质处理的坡岸截留强化处理设施具有较大影响.

(2)降雨强度对坡岸截留强化处理设施中 COD、TN、NH₄⁺-N、TP 的去除造成一定影响.平均雨强为 1.30 mm·min⁻¹ 和 0.65 mm·min⁻¹ 相比,虽然 COD、NH₄⁺-N、TN、TP 的平均去除率受雨强影响效果不一致,但单位面积去除总量均有所提高,分别增加了 26.27%、32.6% 和 68.3%、104.2%.

(3)降雨间隔对坡岸截留强化处理设施中 COD 的影响不大,但对 TN、NH₄⁺-N 的去除造成一定影响.当降雨间隔由 2 d 增至 4 d 时, NH₄⁺-N、TN 的处理效率分别提高了 19.31%、13.95%,单位面积去除量增长了 58.33%、44.93%,TP 的去除情况虽有所提高,但去除总量有限.

参考文献:

[1] Wang L M, Duggin J A, Nie D. Nitrate-nitrogen reduction by established tree and pasture buffer strips associated with a cattle feedlot effluent disposal area near Armidale, NSW Australia[J]. Journal of Environmental Management, 2012, **99**: 1-9.

[2] Rasmussen J J, Baattrup-Pedersen A, Wiberg-Larsen P, et al. Buffer strip width and agricultural pesticide contamination in Danish lowland streams: Implications for stream and riparian management[J]. Ecological Engineering, 2011, **37**(12): 1990-1997.

[3] Díaz F J, O'Geen A T, Dahlgren R A. Agricultural pollutant removal by constructed wetlands: Implications for water

- management and design [J]. *Agricultural Water Management*, 2012, **104**: 171-183.
- [4] Wu C Y, Kao C M, Lin C E, *et al.* Using a constructed wetland for non-point source pollution control and river water quality purification: a case study in Taiwan [J]. *Water Science and Technology*, 2010, **61**(10): 2549-2555.
- [5] 王沛芳, 王超, 徐海波. 自然水塘湿地系统对农业非点源氮的净化截留效应研究[J]. *农业环境科学学报*, 2006, **25**(3): 782-785.
- [6] Mu H Z, Zheng T, Huang Y C, *et al.* Reducing non-point source pollution with enhancing infiltration [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2006, **18**(1): 115-119.
- [7] Liu C, Wu G X, Mu H Z, *et al.* Synthesis and application of lignin-based copolymer LSAA on controlling non-point source pollution resulted from surface runoff [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2008, **20**(7): 820-826.
- [8] 黄锦楼, 陈琴, 许连煌. 人工湿地在应用中存在的问题及解决措施[J]. *环境科学*, 2013, **34**(1): 401-408.
- [9] 王敏, 黄宇驰, 吴建强. 植被缓冲带径流渗流水量分配及氮磷污染物去除定量化研究[J]. *环境科学*, 2010, **31**(11): 2607-2612.
- [10] Zhang X Y, Liu X M, Zhang M H, *et al.* A review of vegetated buffers and a meta-analysis of their mitigation efficacy in reducing nonpoint source pollution[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2010, **39**(1): 76-84.
- [11] Qi Z, Lv W M, Xu L G, *et al.* Analysis on affected factors of treatment efficiency of rural sewage removal with constructed wetland[J]. *Procedia Environmental Sciences*, 2011, **10**: 2314-2319.
- [12] Nivala J, Hoos M B, Cross C, *et al.* Treatment of landfill leachate using an aerated, horizontal subsurface-flow constructed wetland[J]. *Science of the Total Environment*, 2007, **380**(1-3): 19-27.
- [13] Tunçsiper B. Nitrogen removal in a combined vertical and horizontal subsurface-flow constructed wetland system [J]. *Desalination*, 2009, **247**(1): 466-475.
- [14] Saeed T, Sun G Z. A review on nitrogen and organics removal mechanisms in subsurface flow constructed wetlands: Dependency on environmental parameters, operating conditions and supporting media[J]. *Journal of Environmental Management*, 2012, **112**: 429-448.
- [15] Calheiros C S C, Rangel A O S S, Castro P M L. Treatment of industrial wastewater with two-stage constructed wetlands planted with *Typha latifolia* and *Phragmites australis* [J]. *Bioresource Technology*, 2009, **100**(13): 3205-3213.
- [16] Huang J, Reneau R B Jr, Hagedorn C. Nitrogen removal in constructed wetlands employed to treat domestic wastewater[J]. *Water Research*, 2000, **34**(9): 2582-2588.
- [17] Ayaz S C. Post-treatment and reuse of tertiary treated wastewater by constructed wetlands[J]. *Desalination*, 2008, **226**(1): 249-255.
- [18] Akrotas C S, Tsihrantzis V A. Effect of temperature, HRT, vegetation and porous media on removal efficiency of pilot-scale horizontal subsurface flow constructed wetlands[J]. *Ecological Engineering*, 2007, **29**(2): 173-191.
- [19] Tu S H, Wan J B, Zeng Y, *et al.* Influence of load and temperature on contamination removal in constructed wetland[J]. *Journal of Nanchang University (Engineering & Technology)*, 2009, **31**(4): 313-316.
- [20] Wijffels R H, Hunik J H, Leenen E J T M, *et al.* Effects of diffusion limitation on immobilized nitrifying microorganisms at low temperatures[J]. *Biotechnology and Bioengineering*, 1995, **45**(1): 1-9.
- [21] Kusch P, Wießner A, Kappelmeyer U, *et al.* Annual cycle of nitrogen removal by a pilot-scale subsurface horizontal flow in a constructed wetland under moderate climate [J]. *Water Research*, 2003, **37**(17): 4236-4242.
- [22] Drizo A, Frost C A, Smith K A, *et al.* Phosphate and ammonium removal by constructed wetlands with horizontal subsurface flow, using shale as a substrate[J]. *Water Science and Technology*, 1997, **35**(5): 95-102.
- [23] Li W Y, Li Z Y. Effect of temperature and substrate on nitrogen and phosphorus removal by constructed wetlands [J]. *Water Conservancy Science and Technology and Economy*, 2012, **18**(11): 1-4.
- [24] 李怀正, 章星异, 陈卫兵, 等. 高水力负荷对人工湿地处理精养虾塘排水效果的影响[J]. *环境科学*, 2012, **33**(5): 1597-1603.
- [25] 叶建锋. 垂直潜流人工湿地中污染物去除机理研究[D]. 上海: 同济大学, 2007. 108-112.
- [26] Stefanakis A I, Tsihrantzis V A. Effects of loading, resting period, temperature, porous media, vegetation and aeration on performance of pilot-scale vertical flow constructed wetlands[J]. *Chemical Engineering Journal*, 2012, **181-182**: 416-430.

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-chen, 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 Piggery 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