

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第37卷 第2期

Vol.37 No.2

2016

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

编者按 (403)

我国化学品的风险评价及风险管理 王铁宇,周云桥,李奇锋,吕永龙 (404)

土地利用回归模型在大气污染时空分异研究中的应用 吴健生,谢舞丹,李嘉诚 (413)

中国2000~2010年生态足迹变化特征及影响因素 黄宝荣,崔书红,李颖明 (420)

关中地区冬季PM_{2.5}中碳气溶胶的污染特征及来源解析 田鹏山,曹军骥,韩永明,张宁宁,张蓉,刘随心 (427)

利用SPAMS研究南宁市冬季单颗粒气溶胶化学成分 刘慧琳,宋红军,陈志明,黄炯丽,杨俊超,毛敬英,李宏姣,梁桂云,莫招育 (434)

南京夏季市区VOCs特征及O₃生成潜势的相关性分析 杨笑笑,汤莉莉,张运江,母应峰,王鸣,陈文泰,周宏仓,花艳,江蓉馨 (443)

北京城区气传花粉季节特征及与气象条件关系 孟龄,王效科,欧阳志云,任玉芬,王巧环 (452)

重庆市垃圾焚烧厂汞的分布特征与大气汞排放因子研究 段振亚,苏海涛,王凤阳,张磊,王书肖,余斌 (459)

三峡库区腹地大气微量金属干湿沉降特征 张六一,刘源,乔保清,付川,王欢博,黄怡民,杨复沫 (466)

长沙近地面水汽中稳定同位素的监测与分析 谢宇龙,章新平,姚天次,黄煌 (475)

青藏高原内陆典型冰川区“冰川-径流”汞传输过程 孙学军,王康,郭军明,康世昌,张国帅,黄杰,丛志远,张强弓 (482)

西藏湖泊沉积物重金属元素特征及生态风险评估 郭泌汐,刘勇勤,张凡,侯居峙,张宏波 (490)

坦噶尼喀湖东北部入湖河流沉积物重金属分布特征与生态风险评价 余成,陈爽,张路 (499)

近百年来新疆博斯腾湖多环芳烃的组成及变化特征 沈贝贝,吴敬禄,赵中华,曾海鳌,金苗 (507)

舟山青浜岛不同环境介质中PAHs的分布特征 郑煌,邢新丽,顾延生,桂福坤,祁士华,黄煊芳 (513)

模拟排水沟渠非点源溶质氮迁移实验研究 李强坤,宋常吉,胡亚伟,彭聪,马强,姜正曦,琚艺萌 (520)

中田河流域景观异质性对水体总氮浓度影响研究 王晶萍,李兆富,刘红玉,王刚,辛强 (527)

江西香溪流域干湿季交替下底泥氮释放机制及其对流域氮输出的贡献 韩宁,郝卓,徐亚娟,高扬,于贵瑞 (534)

巢湖水体氮磷营养盐时空分布特征 奚姗姗,周春财,刘桂建,吴蕾,王培华 (542)

合肥城郊典型农田溪流系统沉积物磷形态及释放风险分析 裴婷婷,李如忠,高苏蒂,罗月颖 (548)

桑沟湾表层沉积物性质及对磷的吸附特征 朱佳美,曹晓燕,刘素美,王丽莎,杨桂朋,葛成凤,路敏 (558)

苏州市古城区降雨径流颗粒物粒径分布及污染物赋存形态 李淮,吴玮,田永静,黄天寅 (565)

洪泽湖有毒和无毒微囊藻丰度及其与环境因子之间的相关分析 李大命,张彤晴,唐晟凯,段翠兰,杨俊虎,穆欢,刘小维 (573)

三峡库区消落带水体CDOM中电荷转移配合物对其紫外-可见吸收光谱的影响 江韬,梁俭,张慕雪,王定勇,魏世强,卢松 (580)

pH对高锰酸钾氧化降解苯胺类化合物动力学的影响 王辉,孙波,关小红 (588)

EDTA对Pd/Fe体系还原脱氯2,4-D的影响 周红艺,聂亚中,陈勇,雷双健 (595)

镍铝层状氧化物薄膜电极的制备及其除盐性能 王婷,朱春山,胡承志 (602)

微生物对砷的氧化还原竞争 杨婷婷,柏耀辉,梁金松,霍旻,王明星,袁林江 (609)

处理水产养殖污水潜流湿地中的厌氧氨氧化菌群特征 曾宪磊,刘兴国,吴宗凡,时旭,陆诗敏 (615)

污水回用中主要病原菌解析及其紫外消毒效应 景明,王磊 (622)

异养硝化-好氧反硝化菌 *Burkholderia* sp. YX02 强化连续流反应器中微生物群落结构解析 邵基伦,曹刚,李紫惠,黄郑郑,罗恺,莫渊辉 (630)

基于新一代测序技术的A²O与BIOLAK活性污泥宏基因组比较分析 田美,刘汉湖,申欣 (638)

1株海洋异养硝化-好氧反硝化菌的分离鉴定及其脱氮特性 孙庆花,于德爽,张培玉,林学政,李津 (647)

纳米Ni/Fe用于去除染料生产废水二级生物处理出水中AOX和色度的研究 舒小铭,徐灿灿,刘锐,赵远,陈吕军 (655)

3BER-S工艺用于再生水深度脱氮同步去除PAEs的可行性 徐鹏程,郝瑞霞,张娅,王冬月,钟丽燕,徐浩丹 (662)

合成时间对钛酸盐纳米材料的影响及其吸附水中铅的性能研究 范功端,陈丽茹,林茹晶,林茜,苏昭越,林修咏 (668)

芦苇秸秆生物炭对水中菲和1,1-二氯乙烯的吸附特性 吴晴雯,孟梁,张志豪,罗启仕,杨洁 (680)

芦苇基和污泥基生物炭对水体中诺氟沙星的吸附性能 张涵瑜,王兆炜,高俊红,朱俊民,谢超然,谢晓芸 (689)

季节性温度升高对落干期消落带土壤氮矿化影响 林俊杰,张帅,刘丹,周斌,肖晓君,马慧燕,于志国 (697)

增温及秸秆施用对冬小麦田土壤呼吸和酶活性的影响 陈书涛,桑琳,张旭,胡正华 (703)

基于GIS的银川市不同功能区土壤重金属污染评价及分布特征 王幼奇,白一茹,王建宇 (710)

不同产地硅藻土原位控制土壤镉污染差异效应与机制 朱健,王平,林艳,雷明婧,陈仰 (717)

紫色土对邻苯二甲酸二甲酯的淋溶吸附特征及影响因素 王强,宋娇艳,曾微,王法 (726)

几种修复措施对Cd淋失及土壤剖面运移影响 刘孝利,曾昭霞,铁柏清,陈求稳,魏祥东 (734)

河北邯郸钢铁冶炼区周边麦田土和小麦籽粒的多环芳烃含量及其组分谱特征 吴迪,汪宜龙,刘伟健,陈源琛,付晓芳,陶澍,刘文新 (740)

湿生环境中丛枝菌根(AM)对香蒲耐Cd胁迫的影响 罗鹏程,李航,王曙光 (750)

溴酸盐对水生生物的急性毒性效应 王执伟,刘冬梅,张文娟,崔福义 (756)

自组装哑铃状Fe₃O₄微/纳米材料对十溴联苯的热催化降解 黄鑫辰,宗刚,刘焯焯,芦会杰,李倩倩,李宾克,赵彦辉,苏贵金 (765)

盐度对准好氧矿化垃圾生物反应器渗滤液处理及N₂O产生的影响 李卫华,孙英杰,刘子梁,马强,杨强 (775)

污泥直接干化尾气中恶臭污染物重要性评价:以指标权重评分法为例 丁文杰,陈文和,邓明佳,罗辉,李琳,刘俊新 (782)

《环境科学》征订启事(557) 《环境科学》征稿简则(594) 信息(419,442,781)

模拟排水沟渠非点源溶质氮迁移实验研究

李强坤¹, 宋常吉¹, 胡亚伟¹, 彭聪^{1,2}, 马强¹, 姜正曦¹, 琚艺萌³

(1. 黄河水利委员会黄河水利科学研究院, 郑州 450003; 2. 河海大学水文水资源学院, 南京 210098; 3. 新疆大学资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830000)

摘要: 农田排水沟渠是由水-底泥-植物组成的复合生态结构, 其间非点源溶质的迁移转化对研究沟渠拦截、控制和管理农业非点源污染具有重要意义. 本研究以模拟排水沟渠静态实验为基础, 以典型非点源溶质氮素为例, 分析了实验期内水体、底泥及芦苇不同介质内氮含量变化过程, 分析了底泥吸附与解析、芦苇生长与衰败等年内不同时期对水体中氮素浓度的影响, 探讨了水-底泥-芦苇复合生态体内氮迁移及对水体中氮浓度的影响机制. 结果表明, 底泥的吸附与解吸、芦苇生长的吸收和同化对水体中氮素浓度均有影响, 10 月之前这种影响表现为促使水体中氮素浓度降低, 是水体的氮净化过程; 10 月之后这种净化作用开始降低, 11 月之后表现为促使水体中氮素浓度升高. 同时, 模拟沟渠水-底泥-芦苇生态体内氮迁移联系密切, 任一介质内或介质间氮素迁移转化都会引起水体中氮素浓度相应调整.

关键词: 排水沟渠; 非点源污染; 氮; 迁移转化; 实验

中图分类号: X52; X592 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2016)02-0520-07 DOI: 10.13227/j.hjkk.2016.02.016

Transformation of Non-point Source Soluble Nitrogen in Simulated Drainage Ditch

LI Qiang-kun¹, SONG Chang-ji¹, HU Ya-wei¹, PENG Cong^{1,2}, MA Qiang¹, JIANG Zheng-xi¹, JU Yi-meng³

(1. Yellow River Institute of Hydraulic Research, Zhengzhou 450003, China; 2. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China; 3. College of Resource and Environmental Sciences, Xinjiang University, Urumqi 830000, China)

Abstract: The drainage ditch has a compound ecosystem structure consisting of water, sediment and plants. Migration and transformation of the non-point source solute is important to study interception, control and management of agricultural non-point source pollution in the drainage ditch. Based on the experiment on static simulation of drainage ditches, the article used typical non-point source soluble nitrogen as an example to analyze the changing process of nitrogen content in water, sediment and reeds, and to study the effects of the sediment adsorption and desorption, reeds growth and death in different periods on nitrogen concentration in water. The article discussed nitrogen migration in water-sediment-reeds compound ecosystem and its influence on nitrogen concentration in water. The results showed that both adsorption and desorption in sediment and absorption and assimilation of reeds growth had effect on nitrogen concentration in water. The effect before October was reducing the nitrogen concentration in water, which was the process of nitrogen purification in water. After October, the nitrogen concentration in water increased and made it easy to form secondary nitrogen pollution. Meanwhile, the migration in the water-sediment-seeds ecosystem in simulated drainage ditch had close ties, any migration and transformation of nitrogen in a single medium or between different mediums would cause adjustment of nitrogen concentration in water.

Key words: drainage ditch; non-point source pollution; nitrogen; migration and transformation; experiment

应用农田排水沟渠拦截、处理农业非点源污染的研究是人工湿地水处理技术的推广和延伸. 1993 年, Meuleman 等^[1] 研究指出, 天然沟渠能够吸收水体中氮污染物, 可以利用天然沟渠改善受污染的水质; Kröger 等^[2,3] 研究发现, 一条长约 400 m, 宽约 7 m 农田排水沟对可溶性无机氮的截留率可以达到 57%; Strock 等^[4] 认为农田排水沟渠在生态学和物理学上的功能与线性湿地的功能相似; Needelman 等^[5] 将沟渠系统概括为具有河流和湿地特征的独特工程化生态系统. 1999 年, 晏维金等^[6] 通过两条排水沟对比实验, 结果表明沟渠湿地系统具有双重性质: 一方面, 沟渠湿地系统能有效地截留氮磷污染物; 另一方面, 沟渠湿地系统本身又是一个潜在的污染源; 姜翠玲等^[7] 在南京地区开展的沟渠湿地对

农业非点源污染物净化能力研究, 也得出相似结果; 2005 年, 杨林章在研究太湖流域农田非点源污染问题时, 结合当地实际情况提出了“生态拦截型沟渠系统”概念^[8], 以此为基础近年又提出了农业非点源污染“4R”控制体系^[9]; 李强坤等^[10] 以青铜峡灌区为例, 应用水动力学基本方程和污染物迁移转化方程对非点源溶质在排水沟的运移进行了模拟, 并进行了典型排水沟水污特征解析^[11], 近年, 张树楠等^[12] 研究了沟渠底泥属性对非点源溶质的吸附特

收稿日期: 2015-07-30; 修订日期: 2015-09-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(51379085); 水利部公益性行业科研专项(201401019)

作者简介: 李强坤(1968~), 男, 博士, 教授级高级工程师, 主要研究方向为生态水文与环境水文、农业水土环境等, E-mail: liqiangk@126.com

性,李如忠等^[13]研究进一步细化,分析了排水沟渠溶质传输的暂态存储影响及参数灵敏性,此外,也有学者将沟渠湿地对农业非点源污染物降解的研究进一步扩展到沟塘湿地进行实验研究,彭世彰等^[14]以现场监测实验为基础,开展了灌区沟塘湿地对稻田排水中氮磷的原位削减效果及机制研究^[15,16];更有学者将沟渠化及景观型灌排系统布设与农业非点源污染防治结合在一起进行探讨^[17,18]等。

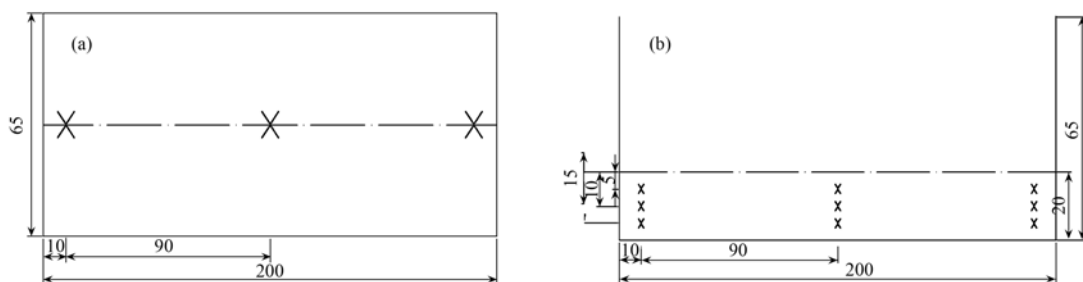
综合上述国内外关于农田排水沟渠系统净化农业非点源污染物的相关研究,可得出以下结论:①农田排水沟渠水-底泥-植物组成的复合生态结构对非点源溶质具有明显的净化效果,但也潜伏着诱发内源污染甚至进一步扩散的威胁;②应用农田排水沟渠“拦截”农业非点源污染尚未形成完善的理论体系,当前研究主要集中于局部或单条、多条沟渠的对比实验、水生植物备选及生态结构形式探讨等层面,关于农田排水沟渠水-底泥-植物系统内各介质间非点源溶质的迁移转化机制尚不清楚,农田排水沟渠非点源污染溶质净化与内源污染形成机制也有待进一步研究^[19,20],这也是阻碍沟渠湿地进一步调

控运用的焦点和技术难点。基于当前研究现状,本文以模拟排水沟渠静态实验为基础,以典型非点源溶质氮素为例,分析了农田排水沟渠水-底泥-植物不同介质内氮的迁移动态过程,以期为进一步揭示农田沟渠水-底泥-植物各介质间非点源溶质迁移转化机制奠定基础。

1 材料与方法

1.1 实验布置

模拟沟渠实验布置在黄河水利科学研究院节水与农业生态实验基地(河南省新乡市)。制作4个相同规格的PVC实验模拟箱(长×宽×高:2 m×0.65 m×0.65 m,见图1),其中1号模拟箱作为空白进行对比,仅加入水样;2号模拟箱在箱底均匀铺设20 cm底泥,实验底泥取自外业实验地——河南省人民胜利渠灌区典型农田排水沟渠,并经自然阴干、粉碎、去除杂质;3号模拟箱在铺设20 cm底泥的基础上,移栽已经培育好的芦苇,初始种植密度为10株·m⁻²(根据成活情况,后期依然按此密度移栽),4号模拟箱为培育多年的水体-底泥-芦苇实验箱。



单位: cm

图1 实验箱体及取样点布设

Fig. 1 Layout of experiment boxes and sampling point

1.2 试剂配置与添加

实验中采用水体中添加尿素[CO(NH₂)₂]和磷酸氢胺[(NH₄)₂HPO₄]混合溶液调控水体中氮、磷浓度。实验开始时,4月1日4个模拟箱统一加水0.39m³,并在1、2、3号模拟箱中添加CO(NH₂)₂和(NH₄)₂HPO₄混合液,调控水体中总氮浓度为15 mg·L⁻¹,4号模拟箱没有加入任何药剂,按加水后现有氮素浓度进入实验。

之后随着实验进行,模拟箱中水位和水中氮素浓度降低,分别在6月13日、7月29日和10月9日向1、2、3号模拟箱中分别加入CO(NH₂)₂和(NH₄)₂HPO₄混合液,并依据3、4号模拟箱中水量情况控制,向4个模拟箱加入同

样水量,为保证实验一致性同时调控1、2、3号模拟箱中总氮浓度为8 mg·L⁻¹,4号模拟箱依然不加入任何药剂。

为使模拟实验尽可能接近自然状态,实验过程中4个模拟箱统一放置在露天环境,气温、蒸发及雨雪等各实验条件完全一致。考虑到NH₄⁺离子易转化为气态的NH₃,挥发进入大气,因此氮的挥发在实验中统一不计入分析。

1.3 样本提取和分析

水样每10 d取样一次,分别在每个模拟箱的前、中、后这3个断面分别设置取样点[详见图1(a)],采集水体深度1/2处水样,每次取样500 mL,分析指标包括总氮、氨氮、硝氮等,文中取3个水样

的平均值进行分析。

底泥样品每月采集一次,采用 PSC-600A 型活塞式柱状沉积物采样器,在每个模拟箱的前、中、后这 3 个断面分别设置取样点[详见图 1(b)],分别提取底泥表层、中层、底层(即 0~5、5~10、10~15 cm 深)的底泥样品,样品取出后放入风干袋自然风干,然后磨碎、过 100 目筛进行分析,分析指标包括总氮、氨氮、硝氮等,同样文中取前、中、后这 3 个断面样品的平均值进行分析。

植物样品在芦苇长到一定株高后,6 月开始取样,每月取样一次,分别提取同株芦苇的根、茎、叶,并按根、茎、叶分类放入风干袋自然风干、粉碎

后进行分析,分析指标为总氮。

各项样品提取按照文献[21]中相关规定进行必要的前处理后进行实验室化验分析,主要分析仪器为 Smartchem 140 全自动化学分析仪。

2 结果与讨论

2.1 水体中氮素变化特征

水体中氮素浓度除降雨、温度等外界自然条件影响外,还受底泥吸附及植物吸收和根系活动层分解影响。选取 2014 年 4 月 3 日至 2014 年 12 月 25 日时段实验资料(下同),点绘 4 个模拟箱中水体氨氮、硝酸盐氮浓度分别见图 2、图 3。

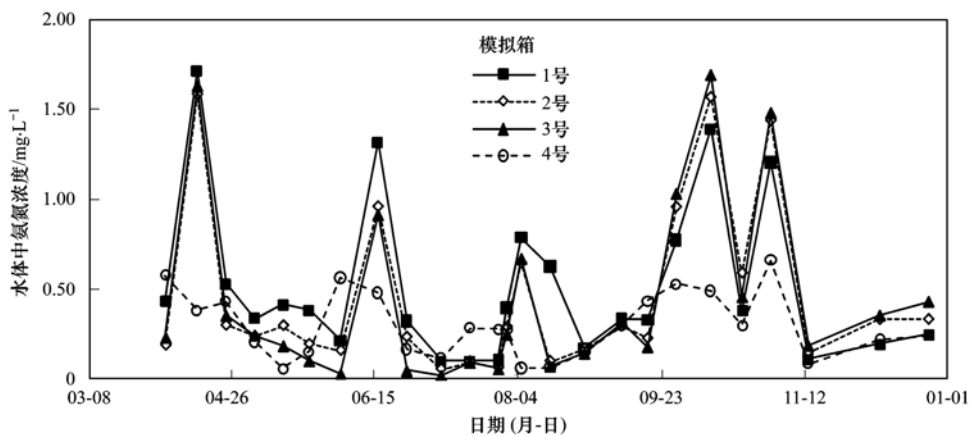


图 2 模拟实验箱水体中氨氮浓度变化

Fig. 2 Variation of nitrogen concentration in water in simulated experiment boxes

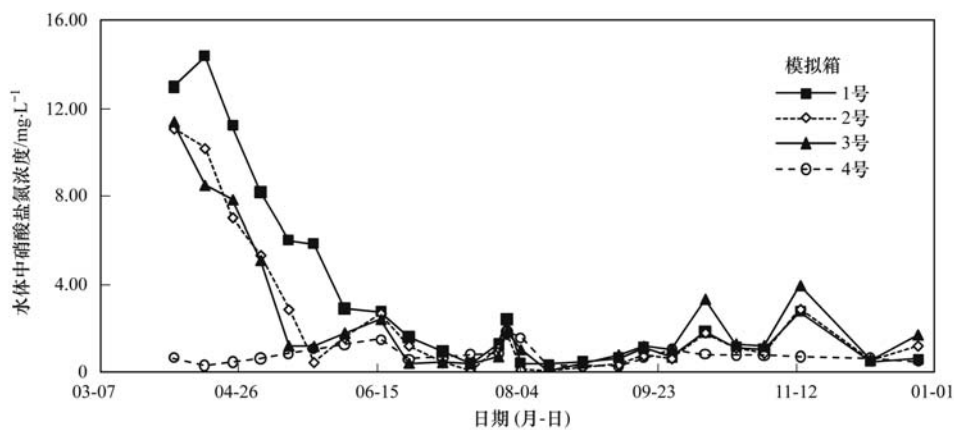


图 3 模拟实验箱水体中硝酸盐氮浓度变化

Fig. 3 Variation of nitrate concentration in water in simulated experiment boxes

图 2、图 3 中可以看出,水体中氮素浓度变化具有以下几个特征:①在 4 月 1 日向 1、2、3 号箱中注入等量 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 和 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 混合溶液,4 月 3 日实验开始取样后,1、2、3 号模拟箱中硝酸盐氮浓度已经升高,分别达到 12.97、11.09 和 11.39 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,而水体中氨氮浓度提升则相对滞

后,在第二个取样日即 4 月 14 日才达到第一个峰值,浓度也远低于硝酸盐氮浓度,这同文献[22, 23]在大田实验中所监测的施肥后农田排水硝酸盐氮和氨氮浓度变化具有相似特征;②1、2、3 号模拟箱水体中氨氮和硝酸盐氮浓度变化具有几乎相同的趋势,4 月 1 日向 1、2、3 号箱中注入等

量 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 和 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 混合液后,浓度升高,之后开始下降,6月13日、7月29日及10月9日再次注入 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 和 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 混合液后,也表现出相似的升高-下降过程;③9月之前,无论是水体中的氨氮浓度还是硝酸盐氮浓度,1号箱高于2号箱,2号箱又高于3号箱;9月中旬之后,2、3号模拟箱水体中的氨氮浓度和硝酸盐氮浓度开始逐渐高于1号模拟箱,进一步比较3号箱又高于2号箱;④4号模拟箱水体中没有加入任何药剂,氨氮和硝酸盐氮浓度表现出的是自然状态下水体-底泥-植物间的氮素运移特征,图2、图3中可以看出,实验期内水体中氨氮和硝酸盐氮浓度有所波动,但变化范围不大.在10月9日最后一次加水之后,水体中氨氮浓度在11月13日之

后、硝酸盐氮浓度在12月8日之后依然呈现出上升趋势.

1号模拟箱和2号模拟箱的差别在于有无底泥,在同等实验条件下水体中氮素浓度的差异可看做是因底泥吸附作用引起;2号模拟箱和3号模拟箱区别在于箱体内移栽的芦苇,箱内水体中氮素浓度差异可认为是芦苇作用造成.因此,引入净化率 W 做进一步分析.

$$W = [(c_1 - c_2)/c_1] \times 100\% \quad (1)$$

式中, W :净化率,%; c_1 、 c_2 :模拟箱水体中氮素浓度, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

分别计算实验期内底泥净化率(2号模拟箱相对于1号模拟箱)、植物净化率(3号模拟箱相对于2号模拟箱),并点绘于图4.

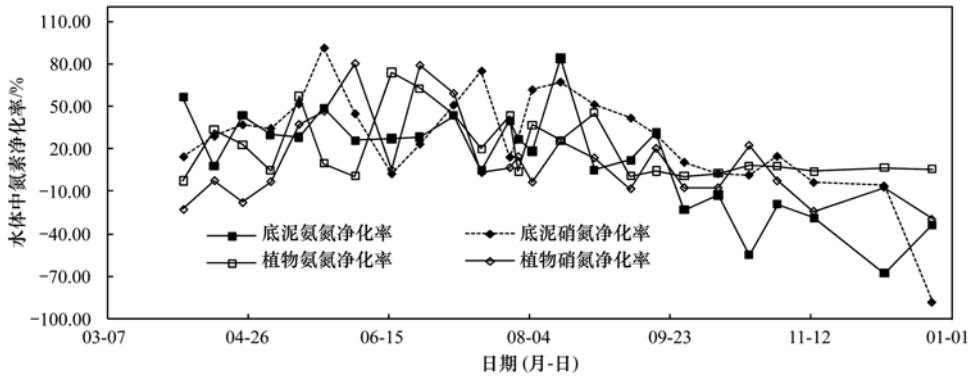


图4 模拟箱水体中氮素净化率变化过程

Fig. 4 Changing process of nitrogen purification rate in simulated experiment boxes

图4中可以看出,无论是底泥对水体中氮素的吸附净化,还是植物的吸收净化,基本上可以10月为界划分为两个过程,10月之前各净化率基本均大于零,表现出对水体中氮素的吸收和净化作用,10月之后基本接近于零或小于零,其中在9月28日底泥对氨氮的净化率、植物对硝氮的净化率已小于零,11月之后除植物对氨氮净化效率接近于零外其他3种净化率均小于零,表现出对箱内水体的“负净化”作用,对水体实质上是一个再污染过程,形成“内源污染”或“二次污染”.文献[24]也对此有过研究,结果基本相似.具体原因除文献已经提出的底泥解吸、芦苇生长能力减弱甚至部分根茎叶枯败作用外,还应该包括温度降低、微生物作用减弱等因素.

2.2 底泥中氮素含量变化特征

点绘2号、3号、4号模拟箱底泥中氨氮、硝酸盐氮含量变化过程见图5.

可以看出,2号、3号模拟箱底泥中氨氮、硝酸

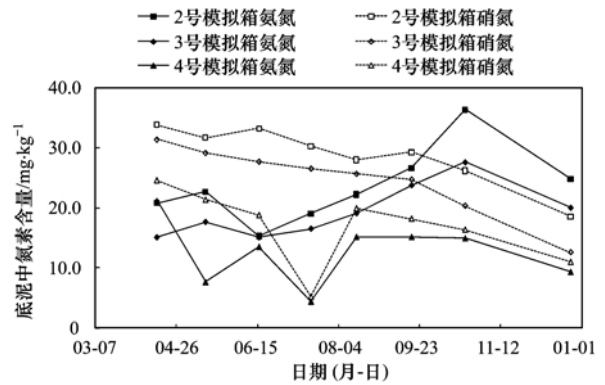


图5 模拟实验箱底泥中硝酸盐氮和氨氮浓度变化

Fig. 5 Variation of nitrate and nitrogen concentration in sediment in simulated experiment boxes

盐氮含量变化过程基本一致,其中氨氮含量在6月之前有一个小的升降波动,6月之后直到11月之前是一个明显的上升过程,之后开始下降,在整个升降过程中,3号模拟箱底泥中氨氮含量几乎全低于2号箱底泥中氨氮含量;底泥中硝酸盐氮的含量,2

号、3号模拟箱不仅变化过程一致,而且整体上都呈现出下降的趋势,其差异体现在不同的时间段下降的幅度不同.4号模拟箱底泥中氨氮、硝酸盐氮含量变化趋势与2号、3号模拟箱具有一定差异,大致呈“V”字形变化,7月中旬以前是一个整体下降过程,之后则是一个快速上升又缓慢下降的过程.

底泥中氮素含量变化以及不同形式氮素之间的转化相对较为复杂^[25].首先是底泥对水体中氮素的吸附,尤以对还原态氨氮的吸附能力较强,当水体中氨氮浓度较高时,底泥可以通过阳离子交换吸附去除水溶液中的铵离子,以塑造自身新的平衡.实验初期、6月13日、7月29日及10月9日再次向模拟箱注入 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 和 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 混合液,图5可以看出2、3号模拟箱底泥中氨氮含量的增加;其次是植物对底泥中氨氮和硝酸盐氮含量的影响,由于生长需求芦苇根系吸收并向茎叶传递以同化为自身物质,3号模拟箱底泥中氨氮和硝酸盐氮含量在整个实验过程中一直低于2号模拟箱;另外,由于底泥基质中发育着大量的好氧、厌氧及兼性的微生物,硝化作用与反硝化作用交替进行,从图5底泥内氨氮和硝酸盐氮含量变化趋势初步分析,2、3号模拟箱底泥中应以反硝化作用为主.

鉴于底泥中氮素含量变化及不同形式氮素之间转化的复杂性,点绘2、3号模拟箱底泥中总氮含量

及芦苇对底泥中总氮的吸收效率[计算同式(1)]见图6.从中可以看出,2、3号箱底泥中总氮含量在7月29日注入 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 和 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 混合液后进入平台期,10月之后持续呈下降趋势;芦苇对底泥中的总氮的影响效率也比较明显,在根系生长期的4~7月,芦苇净化影响效率较大,8~11月大致是一个平衡期,11月之后对水体影响也是“负净化”.

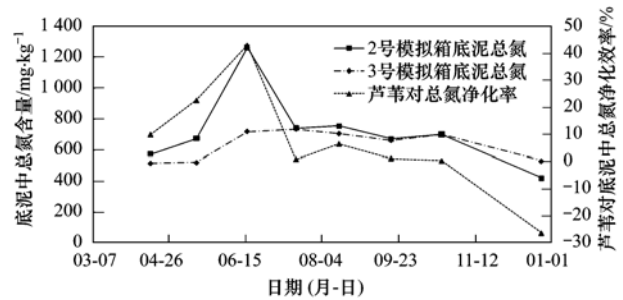


图6 底泥中总氮含量及芦苇对底泥中总氮的净化效率

Fig. 6 Total nitrogen content in sediment and the purification efficiency of reeds

2.3 植物体内氮素浓度变化

作为水-底泥-植物复合生态体的重要组成,随着植物的生长-衰败循环,植物体内的氮素含量也在不停地变化,点绘3号、4号模拟箱内芦苇体不同时期根茎叶总氮含量变化过程见图7.

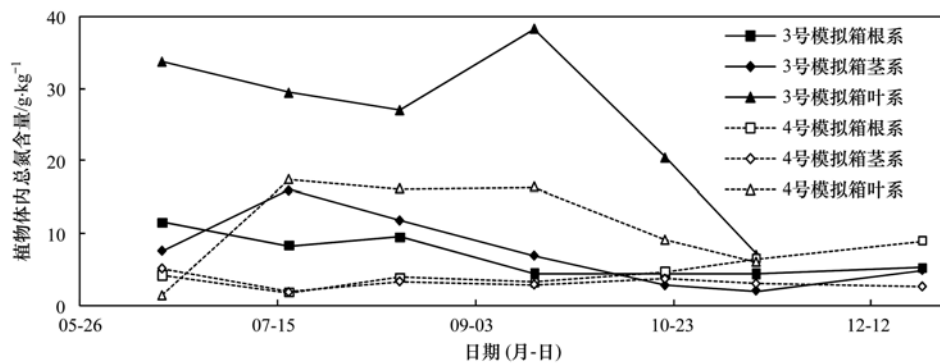


图7 植物体内总氮含量变化

Fig. 7 Variation of total nitrogen content in plants

由于3号模拟箱是新移栽芦苇,4月植入后直到6月才开始取样.图7可以看出,6~11月,3号箱叶系总氮含量最高,9月最高含量达到 $38 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,之后开始下降直到11月芦苇叶脱落;4号箱叶系总氮含量从6月开始上升,7月达到 $17 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,8~9月一直稳定在这个水平,10月开始下降直至芦苇叶体脱落;芦苇根茎总氮含量远低于叶系总氮含量,其中在6月芦苇开始生长期,根系总氮

含量略高于茎系含量,7~9月芦苇生长旺盛期,茎系总氮含量高于根系含量,并且在此期间,3号模拟箱新栽芦苇根茎系总氮含量在10月之前一直高于4号箱多年生芦苇根茎系含量.

文献[24,26]等提出,应该定期收割芦苇,以带走植物体本身从底泥及水体中吸收的氮素,消减氮污染源.从3、4号模拟箱对比可以看出,定期收割芦苇不仅可带走氮营养源,同时考虑到第二年新生

芦苇的“生长拉力”作用,还可以刺激新生芦苇对底泥及水体中氮素的吸收和同化能力,提高芦苇对水体的净化水平.

2.4 水体-底泥-芦苇氮素含量响应分析

农田排水沟渠中水体-底泥-水生植物构成一个复合生态体,单一介质内部及不同介质间氮素的迁移

和转化都不是孤立的. 不考虑外界环境因素影响的前提下,系统内水体中氮素浓度的升高或降低,必然受底泥或水生植物介质内或介质间氮素迁移转化影响. 以3号模拟箱和4号模拟箱为例,分别点绘水体-底泥-芦苇不同时期介质内总氮含量见图8、图9. 其中芦苇体总氮含量取根、茎、叶总氮含量的平均值.

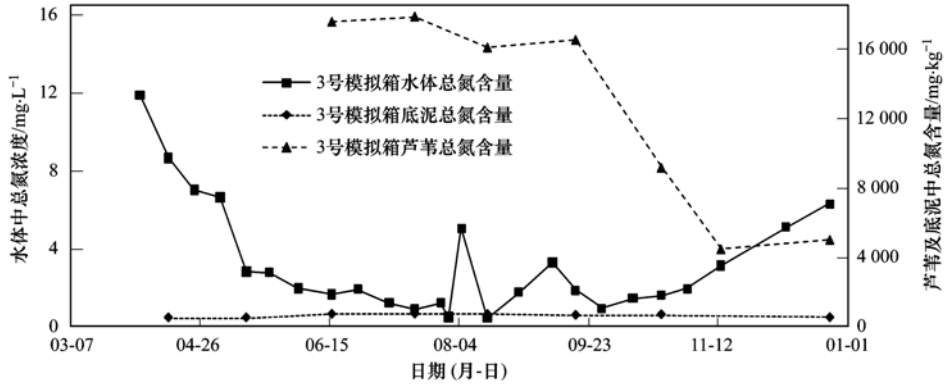


图8 3号模拟箱水体-底泥-芦苇总氮含量变化

Fig. 8 Variation of total nitrogen in water-sediment-reeds in box 3

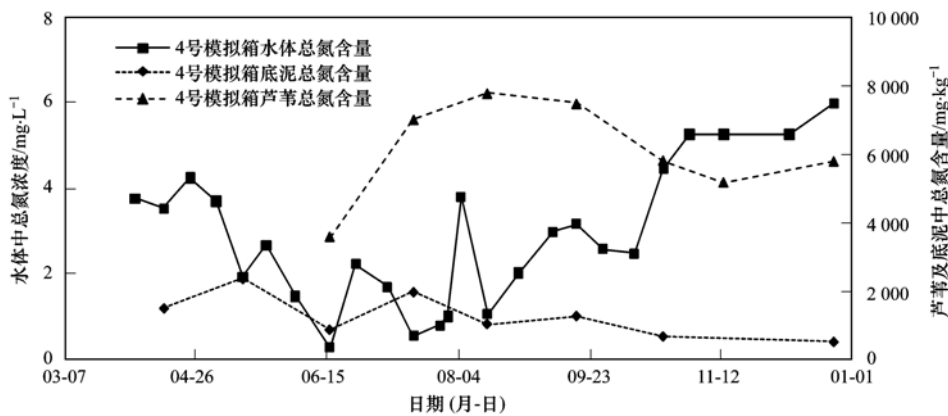


图9 4号模拟箱水体-底泥-芦苇总氮含量变化

Fig. 9 Variation of total nitrogen in water-sediment-reeds in box 4

图8中可以看出,整个实验期内3号模拟箱内水体中总氮浓度的变化呈现出高-低-高的“凹”形变化趋势,底泥内总氮含量则呈现出低-高-低的微“凸”形变化特征,而芦苇因受生长期影响由高到低. 10月之前,即使人为调控注入CO(NH₂)₂和(NH₄)₂HPO₄混合液,但由于底泥的吸附和芦苇的生长吸收,水体中总氮浓度总体上依然呈下降趋势;而10月之后,水体中总氮浓度再次升高直至实验期结束,同时底泥中总氮含量下降,一定程度上反映出水体-底泥-芦苇介质间氮素的迁移转化动态及其对水体中氮素浓度的影响机制.

图9为4号模拟箱内水体-底泥-芦苇不同介质内总氮含量变化过程. 整个实验期内,水体中总

氮浓度和底泥中总氮含量的变化趋势和3号模拟箱相类似,但变动的幅度要小一些. 可以看出,水体中总氮浓度的变化同时伴随着底泥中总氮含量的波动,10月之前,水体内总氮浓度和底泥中总氮含量循环升降,但其过程并不同步,水体中总氮浓度升降在前,底泥中总氮含量波动在后,一定程度上反映出底泥对水体中氮素的吸附,中间同时具有多年生芦苇对底泥及水体中氮素的吸收与同化作用;10月之后,水体中总氮浓度持续上升,而底泥中的总氮含量则持续缓慢下降,芦苇体同时进入衰败期体内总氮下降. 也反映了水体-底泥-芦苇介质间氮素的迁移转化对水体中氮素浓度的影响机制.

3 结论

(1) 水体中氮素浓度受底泥吸附及植物吸收和根系活动层分解影响,10月之前这种影响表现为促使水体中氮素浓度降低,是水体的氮净化过程;11月之后则表现为促使水体中氮素浓度升高,易形成二次氮污染。

(2) 受人工调控、微生物及芦苇根系活动影响,底泥中的总氮实验期整体上可划分为升-平衡-下降这3个阶段;芦苇对底泥中总氮影响比较明显,根系生长期4~7月,芦苇净化影响效率较大,8~11月大致是一个平衡期,11月之后可能引起底泥总氮含量上升。

(3) 芦苇体中叶系氮素含量最高,定期收割芦苇不仅可带走氮营养源,同时还可以刺激第二年新生芦苇对底泥及水体中氮素的吸收和同化能力,提高芦苇对水体的净化水平。

(4) 模拟沟渠水-底泥-芦苇生态体内氮迁移联系紧密,任一介质内或介质间氮素迁移转化都会引起水体中氮素浓度相应调整。

参考文献:

- [1] Meuleman A F M, Beltman B. The use of vegetated ditches for water quality improvement [J]. *Hydrobiologia*, 1993, **253** (1-3): 375.
- [2] Kröger R, Holland M M, Moore M T, *et al.* Hydrological variability and agricultural drainage ditch inorganic nitrogen reduction capacity [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2007, **36** (6): 1646-1652.
- [3] Kröger R, Holland M M, Moore M T, *et al.* Agricultural drainage ditches mitigate phosphorus loads as a function of hydrological variability [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2008, **37** (1): 107-113.
- [4] Strock J S, Dell C J, Schmidt J P. Managing natural processes in drainage ditches for nonpoint source nitrogen control [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2007, **62** (4): 188-196.
- [5] Needelman B A, Kleinman P J A, Strock J S, *et al.* Improved management of agricultural drainage ditches for water quality protection: An overview [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2007, **62** (4): 171-178.
- [6] 晏维金, 尹澄清, 孙濮, 等. 磷氮在水田湿地中的迁移转化及径流流失过程 [J]. *应用生态学报*, 1999, **10** (3): 312-316.
- [7] 姜翠玲, 崔广柏, 范晓秋, 等. 沟渠湿地对农业非点源污染物的净化能力研究 [J]. *环境科学*, 2004, **25** (2): 125-128.
- [8] 杨林章, 周小平, 王建国, 等. 用于农田非点源污染控制的生态拦截型沟渠系统及其效果 [J]. *生态学杂志*, 2005, **24** (11): 1371-1374.
- [9] 杨林章, 施卫明, 薛利红, 等. 农村面源污染治理的“4R”理论与工程实践——总体思路与“4R”治理技术 [J]. *农业环境科学学报*, 2013, **32** (1): 1-8.
- [10] 李强坤, 胡亚伟, 李怀恩. 农业非点源污染物在排水沟渠中的模拟与应用 [J]. *环境科学*, 2011, **32** (5): 1273-1278.
- [11] 李强坤, 胡亚伟, 罗良国. 青铜峡灌区典型排水沟渠水污特征解析 [J]. *环境科学*, 2012, **33** (5): 1579-1586.
- [12] 张树楠, 贾兆月, 肖润林, 等. 生态沟渠底泥属性与磷吸附特性研究 [J]. *环境科学*, 2013, **34** (3): 1101-1106.
- [13] 李如忠, 钱靖, 董玉红, 等. 城郊排水沟渠溶质传输的暂态存储影响及参数灵敏性 [J]. *环境科学*, 2015, **36** (2): 481-489.
- [14] 彭世彰, 高焕芝, 张正良. 灌区沟塘湿地对稻田排水中原氮磷的原位削减效果及机理研究 [J]. *水利学报*, 2010, **41** (4): 406-411.
- [15] 潘乐, 菲智, 董斌, 等. 塘堰湿地减少农田面源污染的试验研究 [J]. *农业工程学报*, 2012, **28** (4): 130-135.
- [16] 何军, 崔远来, 吕露, 等. 沟渠及塘堰湿地系统对稻田氮磷污染物的去除试验 [J]. *农业环境科学学报*, 2011, **30** (9): 1872-1879.
- [17] 苏文辉, 于晓菲, 王国平, 等. 沟渠化对三江平原湿地铁元素沉积过程的影响 [J]. *环境科学*, 2015, **36** (4): 1431-1436.
- [18] 张雅杰, 邵庆军, 李海彩, 等. 生态景观型灌排系统面源污染防治试验及生态响应 [J]. *农业工程学报*, 2015, **31** (1): 133-138.
- [19] 李强坤, 胡亚伟, 宋常吉. 农田排水沟渠净化非点源污染的研究实践和关键问题 [A]. 见: 中国环境科学学会学术年会论文集 [C]. 成都: 中国环境科学学会, 2014. 580-583.
- [20] 陆海明, 孙金华, 邹鹰, 等. 农田排水沟渠的环境效应与生态功能综述 [J]. *水科学进展*, 2010, **21** (5): 719-725.
- [21] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法 [M]. (第四版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [22] 李强坤, 李怀恩, 胡亚伟, 等. 青铜峡灌区氮素流失试验研究 [J]. *农业环境科学学报*, 2008, **27** (2): 683-686.
- [23] 李强坤, 陈伟伟, 孙娟, 等. 青铜峡灌区氮磷运移特征试验研究 [J]. *环境科学*, 2010, **31** (9): 2048-2055.
- [24] 姜翠玲, 范晓秋, 章亦兵. 农田沟渠挺水植物对 N、P 的吸收及二次污染防治 [J]. *中国环境科学*, 2004, **24** (6): 702-706.
- [25] 李强坤, 胡亚伟, 孙娟. 农业非点源污染物在排水沟渠中的迁移转化研究进展 [J]. *中国生态农业学报*, 2010, **18** (1): 210-214.
- [26] 余红兵, 肖润林, 杨知建, 等. 五种水生植物生物量及其对生态沟渠氮、磷吸收效果的研究 [J]. *核农学报*, 2012, **26** (5): 798-802.

CONTENTS

Editor's comment	(403)
Risk Assessment and Risk Management of Chemicals in China	WANG Tie-yu, ZHOU Yun-qiao, LI Qi-feng, <i>et al.</i> (404)
Application of Land-use Regression Models in Spatial-temporal Differentiation of Air Pollution	WU Jian-sheng, XIE Wu-dan, LI Jia-cheng (413)
Ecological Footprint Evolution Characteristics and Its Influencing Factors in China from 2000 to 2010	HUANG Bao-rong, CUI Shu-hong, LI Ying-ming (420)
Pollution Characteristics and Sources of Carbonaceous Aerosol in PM _{2.5} During Winter in Guanzhong Area	TIAN Peng-shan, CAO Jun-ji, HAN Yong-ming, <i>et al.</i> (427)
Chemical Composition of the Single Particle Aerosol in Winter in Nanning Using SPAMS	LIU Hui-lin, SONG Hong-jun, CHEN Zhi-ming, <i>et al.</i> (434)
Correlation Analysis Between Characteristics of VOCs and Ozone Formation Potential in Summer in Nanjing Urban District	YANG Xiao-xiao, TANG Li-li, ZHANG Yun-jiang, <i>et al.</i> (443)
Seasonal Dynamics of Airborne Pollens and Its Relationship with Meteorological Factors in Beijing Urban Area	MENG Ling, WANG Xiao-ke, OUYANG Zhi-yun, <i>et al.</i> (452)
Mercury Distribution Characteristics and Atmospheric Mercury Emission Factors of Typical Waste Incineration Plants in Chongqing	DUAN Zhen-ya, SU Hai-tao, WANG Feng-yang, <i>et al.</i> (459)
Characteristics of Atmospheric Dry and Wet Deposition of Trace Metals in the Hinterland of the Three Gorges Reservoir, China	ZHANG Liu-yi, LIU Yuan, QIAO Bao-qing, <i>et al.</i> (466)
Monitoring and Analysis of Stable Isotopes of the Near Surface Water Vapor in Changsha	XIE Yu-long, ZHANG Xin-ping, YAO Tian-ci, <i>et al.</i> (475)
Mercury Transport from Glacier to Runoff in Typical Inland Glacial Area in the Tibetan Plateau	SUN Xue-jun, WANG Kang, GUO Jun-ming, <i>et al.</i> (482)
Characteristics and Risk Assessment of Heavy Metals in Core Sediments from Lakes of Tibet	GUO Bi-xi, LIU Yong-qin, ZHANG Fan, <i>et al.</i> (490)
Distribution and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Sediments of Inflow Rivers to Northeastern Lake Tanganyika	YU Cheng, CHEN Shuang, ZHANG Lu (499)
Over One Hundred Year Sediment Record of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Lake Bosten, Xinjiang	SHEN Bei-bei, WU Jing-lu, ZHAO Zhong-hua, <i>et al.</i> (507)
Distribution Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Different Environmental Media from Qingbang Island, Zhoushan, China	ZHENG Huang, XING Xin-li, GU Yan-sheng, <i>et al.</i> (513)
Transformation of Non-point Source Soluble Nitrogen in Simulated Drainage Ditch	LI Qiang-kun, SONG Chang-ji, HU Ya-wei, <i>et al.</i> (520)
Influence of Landscape Heterogeneity on Total Nitrogen Concentration in Zhongtian River Watershed	WANG Jing-ping, LI Zhao-fu, LIU Hong-yu, <i>et al.</i> (527)
Nitrogen Release from Sediment Under Dry and Rainy Season Alternation and Its Contribution to N Export from Xiangxi Watershed in Jiangxi Province	HAN Ning, HAO Zhuo, XU Ya-juan, <i>et al.</i> (534)
Spatial and Temporal Distributions of Nitrogen and Phosphate in the Chaohu Lake	XI Shan-shan, ZHOU Chun-cai, LIU Gui-jian, <i>et al.</i> (542)
Phosphorus Fractions and Release Risk in Surface Sediments of an Agricultural Headwater Stream System in Hefei Suburban, China	PEI Ting-ting, LI Ru-zhong, GAO Su-di, <i>et al.</i> (548)
Surface Property and Sorption Characteristics of Phosphorus onto Surface Sediments in Sanggou Bay	ZHU Jia-mei, CAO Xiao-yan, LIU Su-mei, <i>et al.</i> (558)
Particle Size Distribution and Pollutant Speciation Analyses of Stormwater Runoff in the Ancient Town of Suzhou	LI Huai, WU Wei, TIAN Yong-jing, <i>et al.</i> (565)
Abundance of Toxic and Non-toxic <i>Microcystis</i> sp. in Lake Hongze and Its Correlation with Environmental Factors	LI Da-ming, ZHANG Tong-qing, TANG Sheng-kai, <i>et al.</i> (573)
Effect of Charge-Transfer Complex on Ultraviolet-Visible (UV-Vis) Absorption Property of Chromophoric Dissolved Organic Matter (CDOM) in Waters of Typical Water-Level Fluctuation Zones of the Three Gorges Reservoir Areas	JIANG Tao, LIANG Jian, ZHANG Mu-xue, <i>et al.</i> (580)
Influence of pH on Kinetics of Anilines Oxidation by Permanganate	WANG Hui, SUN Bo, GUAN Xiao-hong (588)
Effects of EDTA on the Reductive Dechlorination of 2,4-D by Pd/Fe	ZHOU Hong-yi, NIE Ya-zhong, CHEN Yong, <i>et al.</i> (595)
Preparation of NiAl-MMO Films Electrode and Its Capacitive Deionization Property	WANG Ting, ZHU Chun-shan, HU Cheng-zhi (602)
Competitive Microbial Oxidation and Reduction of Arsenic	YANG Ting-ting, BAI Yao-hui, LIANG Jin-song, <i>et al.</i> (609)
Community Characteristics of ANAMMOX Bacteria in Subsurface Flow Constructed Wetland (SSFCW) for Processing of Aquaculture Waster Water	ZENG Xian-lei, LIU Xing-guo, WU Zong-fan, <i>et al.</i> (615)
Analysis of Pathogenic Bacteria in Reclaimed Water and Impact of UV Disinfection on the Removal of Pathogenic Bacteria	JING Ming, WANG Lei (622)
Analysis of the Microbial Community Structure in Continuous Flow Reactor Enhanced by Heterotrophic Nitrification and Aerobic Denitrification Bacterium <i>Burkholderia</i> sp. YX02	SHAO Ji-lun, CAO Gang, LI Zi-hui, <i>et al.</i> (630)
Comparative Metagenomics of BIOLAK and A ² O Activated Sludge Based on Next-generation Sequencing Technology	TIAN Mei, LIU Han-hu, SHEN Xin (638)
Identification and Nitrogen Removal Characteristics of a Heterotrophic Nitrification-Aerobic Denitrification Strain Isolated from Marine Environment	SUN Qing-hua, YU De-shuang, ZHANG Pei-yu, <i>et al.</i> (647)
Removal of AOX and Chroma in Biologically Treated Effluent of Chemical Dyestuff Wastewater with Nanoscale Ni/Fe	SHU Xiao-ming, XU Can-can, LIU Rui, <i>et al.</i> (655)
Feasibility of 3BER-S Process for the Deep Denitrification in Synch with the Removal of PAEs from Reclaimed Water	XU Peng-cheng, HAO Rui-xia, ZHANG Ya, <i>et al.</i> (662)
Influence of Reaction Time on Titanate Nanomaterials and Its Adsorption Capability for Lead in Aqueous Solutions	FAN Gong-duan, CHEN Li-ru, LIN Ru-jing, <i>et al.</i> (668)
Sorption Characteristics of Phenanthrene and 1,1-Dichloroethene onto Reed Straw Biochar in Aquatic Solutions	WU Qing-wen, MENG Liang, ZHANG Zhi-hao, <i>et al.</i> (680)
Adsorption Characteristics of Norfloxacin by Biochars Derived from Reed Straw and Municipal Sludge	ZHANG Han-yu, WANG Zhao-wei, GAO Jun-hong, <i>et al.</i> (689)
Effect of Seasonal Temperature Increasing on Nitrogen Mineralization in Soil of the Water Level Fluctuating Zone of Three Gorge Tributary During the Dry Period	LIN Jun-jie, ZHANG Shuai, LIU Dan, <i>et al.</i> (697)
Effects of Warming and Straw Application on Soil Respiration and Enzyme Activity in a Winter Wheat Cropland	CHEN Shu-tao, SANG Lin, ZHANG Xu, <i>et al.</i> (703)
Distribution of Urban Soil Heavy Metal and Pollution Evaluation in Different Functional Zones of Yinchuan City	WANG You-qi, BAI Yi-ru, WANG Jian-yu (710)
Differential Effect and Mechanism of <i>in situ</i> Immobilization of Cadmium Contamination in Soil Using Diatomite Produced from Different Areas	ZHU Jian, WANG Ping, LIN Yan, <i>et al.</i> (717)
Characteristics of Adsorption Leaching and Influencing Factors of Dimethyl Phthalate in Purple Soil	WANG Qiang, SONG Jiao-yan, ZENG Wei, <i>et al.</i> (726)
Cd Runoff Load and Soil Profile Movement After Implementation of Some Typical Contaminated Agricultural Soil Remediation Strategies	LIU Xiao-li, ZENG Zhao-xia, TIE Bai-qing, <i>et al.</i> (734)
Concentrations and Component Profiles PAHs in Surface Soils and Wheat Grains from the Cornfields Close to the Steel Smelting Industry in Handan, Hebei Province	WU Di, WANG Yi-long, LIU Wei-jian, <i>et al.</i> (740)
Effect of Arbuscular Mycorrhiza (AM) on Tolerance of Cattail to Cd Stress in Aquatic Environment	LUO Peng-cheng, LI Hang, WANG Shu-guang (750)
Acute Toxic Effects of Bromate on Aquatic Organisms	WANG Zhi-wei, LIU Dong-mei, ZHANG Wen-juan, <i>et al.</i> (756)
Development of Self-assembled Dumbbell-like Fe ₃ O ₄ Micro/nanomaterial for Application in Thermocatalytic Degradation of Polybrominated Biphenyls	HUANG Xin-chen, ZONG Gang, LIU Ye-xuan, <i>et al.</i> (765)
Impact of Salinity on Leachate Treatment and N ₂ O Releases from Semi-aerobic Aged-refuse Bioreactor	LI Wei-hua, SUN Ying-jie, LIU Zi-liang, <i>et al.</i> (775)
Evaluating the Significance of Odor Gas Released During the Directly Drying Process of Sludge: Based on the Multi-index Integrated Assessment Method	DING Wen-jie, CHEN Wen-he, DENG Ming-jia, <i>et al.</i> (782)

《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)

2016年2月15日 第37卷 第2期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 37 No. 2 Feb. 15, 2016

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