

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第4期

Vol.33 No.4

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版



目次

碳同位素比技术定量估算城市大气 CO ₂ 的来源	刘卫, 位楠楠, 王广华, 姚剑, 曾友石, 范雪波, 耿彦红, 李燕 (1041)
广州大气降水中稳定同位素对 2008 年初华南地区冰雪灾害期间水汽来源的反映	廖聪云, 钟巍, 马巧红, 薛积彬, 尹焕玲, 龙昆 (1050)
北京雾霾天气期间气溶胶光学特性	于兴娜, 李新妹, 登增然登, 德庆央宗, 袁帅 (1057)
白马泉风景区夏季大气 PM _{2.5} 中二次有机物的初步研究	代东决, 李黎, 刘子芳, 赵敏, 冯加良, 赖玮, 曾燕梅, 周宇, 刘露云, 邓仕槐 (1063)
机动车尾气排放 VOCs 源成分谱及其大气反应活性	乔月珍, 王红丽, 黄成, 陈长虹, 苏雷燕, 周敏, 徐骅, 张钢锋, 陈宜然, 李莉, 陈明华, 黄海英 (1071)
法国梧桐叶片氮含量及氮同位素对城市大气湿沉降氮的响应研究	王燕丽, 肖化云, 肖红伟 (1080)
胶州湾及邻近海域表层海水中一氧化氮浓度分布及其影响因素探讨	薛超, 刘春颖, 杨桂朋, 祝陈坚, 张洪海 (1086)
基于不确定性分析的太湖水体多环芳烃的生态风险评价	郭广慧, 吴丰昌, 何宏平, 冯承莲, 张瑞卿, 李会仙 (1091)
流域水质时空分布特征及其影响因素初析	黄金良, 黄亚玲, 李青生, 周增荣, 冯媛, 张祯宇 (1098)
潮白河周丛生物群落元素组成与水质变化的生态计量学关系研究	崔经国, 单保庆, 王帅 (1108)
春季盘溪水质日变化规律及水质评价	张千千, 王效科, 郝丽岭, 逯非, 欧阳志云, 侯培强 (1114)
西南喀斯特流域风化作用季节性变化研究	肖琼, 沈立成, 杨雷, 伍坤宇, 陈展图 (1122)
三峡水库开县消落区水域冬季蓄水期间藻类群落结构与水质评价	郭劲松, 谢丹, 李哲, 陈园, 孙志禹, 陈永柏, 龙曼 (1129)
淀山湖水华高发期浮游植物群落变化特征研究	徐春燕, 杨洁, 马明睿, 胡雪芹, 由文辉 (1136)
三峡库区典型消落带草本植物氮磷养分浸泡释放实验	王建超, 朱波, 汪涛, 易礼军 (1144)
沂蒙山区典型小流域特殊降雨的磷素输出特征	李振伟, 于兴修, 刘前进, 井光花 (1152)
合肥城区地表灰尘氮磷形态分布及生物有效性	李如忠, 周爱佳, 童芳, 李峰, 钱家忠 (1159)
鹤地水库沉积物营养盐及重金属分布和污染特征分析	张华俊, 陈修康, 韩博平, 罗勇, 杨浩文, 曾艳, 陈敬安 (1167)
三门峡库区河流湿地沉积物重金属赋存形态和风险评价	敖亮, 单保庆, 张洪, 唐文忠 (1176)
黄河三角洲滨海湿地表层沉积物重金属区域分布及生态风险评价	刘志杰, 李培英, 张晓龙, 李萍, 朱龙海 (1182)
竺山湾重金属污染底泥环保疏浚深度的推算	姜霞, 王雯雯, 王书航, 金相灿 (1189)
雷州近海、流沙湾和深圳湾沉积物 PAHs 污染特征分析	赵利容, 孙省利, 柯盛 (1198)
中国与印度典型城市道路街尘中多环芳烃与黑碳的对比研究	潘苏红, 张千, 孙亚莉, 解启来 (1204)
三江平原典型灌区井灌地下水中铁的随水迁移特征	邹元春, 于晓菲, 霍莉莉, 吕宪国, 姜明 (1209)
海水淡化水在既有管网输配的铁释放控制研究	田一梅, 刘扬, 赵鹏, 单金林, 杨所印, 刘伟 (1216)
新生态铁的混凝作用探索	杨雪, 张景成, 关小红 (1221)
饮用水中甲羟孕酮的臭氧氧化降解研究	岳婵媛, 缪恒锋, 任洪艳, 阮文权 (1227)
核壳式磁性碳纳米吸附剂的制备及其对水环境中金霉素的吸附研究	王懿萱, 张娣, 牛红云, 孟昭福, 蔡亚岐 (1234)
络合-超滤耦合工艺去除水中镍离子的研究	秦妹, 邵嘉慧, 何义亮, 李雯玺 (1241)
赤铁矿光助类 Fenton 降解有毒有机污染物	张钰, 顾彦, 杨慧, 何燕, 李瑞萍, 黄应平, 张爱清 (1247)
掺氮 Ta ₂ O ₅ 诱发可见光-类 Fenton 体系降解阿特拉津研究	赵璐, 邓一荣, 杜瑛珣, 傅翔 (1252)
O ₃ /H ₂ O ₂ 降解水中扑灭通效能研究	李绍峰, 孙楚 (1260)
Pr-N 共掺杂 TiO ₂ 光电催化降解孔雀石绿动力学	沙爽, 周少奇, 张小娜, 周晓 (1267)
铜陵相思谷尾矿用于处理酸性矿山排水的实验研究	张楠, 陈天虎, 周跃飞, 黎少杰, 金杰, 王延明 (1272)
聚合铝铁对 A ² /O 系统 EPS 及生物絮凝性能的影响	温沁雪, 刘爱翠, 陈志强, 施汉昌, 吕炳南 (1278)
温度对污水脱氮系统污染物去除效果及氧化亚氮释放的影响	张婷婷, 张建, 杨芳, 谢慧君, 胡振, 李一冉 (1283)
温度对厌氧氨氧化反应器脱氮效能稳定性的影响	李祥, 黄勇, 郑宇慧, 袁怡, 李大鹏, 潘杨, 张春蕾 (1288)
好氧颗粒污泥处理制糖工业废水厌氧出水的除磷特性研究	王硕, 于水利, 时文歆, 暴瑞玲, 衣雪松, 李建政 (1293)
除磷颗粒污泥系统中不同粒径颗粒的理化特性分析	李志华, 张玉蓉, 杨帆, 李胜, 姬晓琴 (1299)
利用氧化亚氮还原酶基因 (nosZ) 评价人工湿地系统中的反硝化菌	王晓君, 陈少华, 张兆基, 肖俊超 (1306)
紫外诱变法提高好氧反硝化菌降解性能的研究	于佳佳, 陈浚, 杨宣, 陈建孟 (1313)
1 株异养硝化菌胞外聚合物的研究	陈哲, 张斌, 湛志强, 邱志刚, 郭迎庆, 李君文, 王景峰 (1318)
氨氮对稀有鮕鲫胚胎及卵黄囊期仔鱼的毒性效应研究	王志坚, 鲁增辉, 石萍 (1323)
多年蔬菜连作对土壤氨氧化微生物群落组成的影响	孟德龙, 杨扬, 伍延正, 吴敏娜, 秦红灵, 朱亦君, 魏文学 (1331)
生物质炭施用对土壤中氯虫苯甲酰胺吸附及消解行为的影响	王廷廷, 余向阳, 沈燕, 张超兰, 刘贤进 (1339)
水稻光合同化碳向土壤有机碳库输入的定量研究: ¹⁴ C连续标记法	聂三安, 周萍, 葛体达, 童成立, 肖和艾, 吴金水, 张杨珠 (1346)
油田污染土壤残油组成与特征参数分析	王坚, 张旭, 李广贺 (1352)
挥发性氯代烃在湿润土壤中的平衡吸附研究	孟凡勇, 刘锐, 小林刚, 万梅, 余素林, 陈吕军 (1361)
田间土壤外源铜镍在小麦中的累积及其毒害研究	黄锦孙, 韦东普, 郭雪雁, 马义兵 (1369)
中国磷消费结构的变化特征及其对环境磷负荷的影响	马敦超, 胡山鹰, 陈定江, 李有润 (1376)
基于 3MRA 模型的填埋场安全填埋废物污染物阈值评估方法与应用研究	袁英, 席北斗, 何小松, 魏自民, 李鸣晓, 姜永海, 苏婧, 安达 (1383)
填埋垃圾初始含水率对渗滤液产量的影响及修正渗滤液产量计算公式	兰吉武, 詹良通, 李育超, 陈云敏 (1389)
生物反应器填埋场中邻苯二甲酸二丁酯的迁移转化	方程冉, 龙於洋, 沈东升 (1397)
岩溶区峰丛洼地植被指数的克里格分析	杨奇勇, 蒋忠诚, 马祖陆, 曹建华, 罗为群, 李文军, 段晓芳 (1404)
《环境科学》征订启事 (1062) 《环境科学》征稿简则 (1107) 信息 (1135, 1215, 1396)	

潮白河周丛生物群落元素组成与水质变化的生态计量学关系研究

崔经国¹, 单保庆^{1*}, 王帅²

(1. 中国科学院生态环境研究中心环境水质学国家重点实验室, 北京 100085; 2. 青岛市环保局城阳分局, 青岛 266109)

摘要: 研究了潮白河流域中污染水体对周丛生物群落的碳(C)、氮(N)、磷(P)元素含量以及生态计量学组成的影响。结果表明, 下游潮白河 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 分别占TN的52%和28%; 上游白河则分别占1.6%和38%。潮白河TP含量($0.104\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)为白河TP含量($0.005\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)的21倍。白河和潮白河周丛生物C、N、P元素的变异系数分别为0.55、0.41、0.62和0.24、0.13、0.18, 表明生长于白河周丛生物的元素结构变化更大。无周丛生物的水体 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和TP的浓度分别为有周丛生物的21倍和11倍。通过对TOC、TN、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TP、pH、氧化还原电位(ORP)和电导率(conductivity)等水质指标进行二元Logistic回归分析得知, 水体TP为影响潮白河周丛生物生存的主要因素, 其预测正确率为87.3%。周丛生物C、N、P元素间有强相关性, 其中N起了“桥梁”作用。生态计量学分析进一步显示周丛生物的N:P的比值追随水体TN:TP的变化; 并且该比值主要受水体TP浓度影响。周丛生物N:P可用于水体TN:TP变化的生态计量学的指示因子。本研究为进一步探究周丛生物群落结构变化, 以及对高一级营养级生物群落结构和元素循环的影响奠定了基础。

关键词: 周丛生物; 生态计量学; N:P比率; 潮白河; 氮磷失衡

中图分类号: X171.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)04-1108-06

Ecological Stoichiometric Relationships of Periphyton Community Elemental Composition and Variations of Water Quality in the Chaobai River

CUI Jing-guo¹, SHAN Bao-qing¹, WANG Shuai²

(1. State Key Laboratory of Environmental Aquatic Chemistry, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. Chengyang Branch of Qingdao Environmental Protection Bureau, Qingdao 266109, China)

Abstract: Carbon (C), Nitrogen (N) and Phosphorus (P) of water and periphyton were analyzed in the Chaobai River to investigate how anthropogenic river pollution affected the periphyton community and its elemental composition. The results of this study showed that $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_3^-\text{-N}$ accounted for 52%, 28% of TN in the Chaobai River, respectively, while 1.6%, 38% of TN in the Baihe River. TP concentration in the former ($0.104\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) was 21 times higher than the latter ($0.005\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$). Coefficient of variation (CV) of periphyton C, N and P in the Chaobai River and Baihe River were 0.55, 0.41, 0.62 and 0.24, 0.13, 0.18, respectively. This indicated great variations of periphyton elemental composition in the Bai River than in the Chaobai River. Binary logistic analysis was used to determine factors that affect periphyton distribution. TOC, TN, $\text{NO}_3^-\text{-N}$, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, TP, pH, ORP and conductivity were used in this analysis and the result showed that TP was the key factor which can interpret 87.3% of the correct ratio. Periphyton C, N and P had strong correlations and N was the key element of periphyton composition. N:P can track variations of water TN:TP and this periphyton stoichiometric characteristic can be used as indicators of water pollution. TP was the key pollution factor that determined changes of periphyton N:P. This study laid the foundations of investigating variations of the periphyton community and its effect on structure and elemental cycling of higher trophic levels.

Key words: periphyton; ecological stoichiometry; N:P ratios; Chaobai River; N-P imbalance

海河流域是我国污染严重的流域之一, 2009年污水排放总量为49亿t, 流域内劣V类水体占评价河流长度的51.5%^[1]。由于气候变化和过量开采地下水等原因, 流域内河流天然水资源量补给量又严重不足, 河流不同养分元素如氮(N)、磷(P)之间的比例失衡情况较严重, 这种不平衡将进一步影响生态系统的元素循环。通常研究养分的输入输出都是单一尺度手段, 对于多尺度研究, 如同时研究N和P的变化, 其主要研究手段为生态计量法^[2]。曾德慧

等^[3]曾于2005年对生态计量学有过详细论述, 但国内外对于生态计量学的研究尚较少涉及河流生态系统^[4], 尤其国内的研究多集中于陆地的森林^[5~8]、草原生态系统^[9]。

收稿日期: 2011-05-18; 修订日期: 2011-07-21

基金项目: 中国科学院对外合作重点项目(GJHZ0908); 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07209)

作者简介: 崔经国(1980~), 男, 博士研究生, 主要研究方向为河流生态系统的周丛生物生态计量学, E-mail: jingguo.tsui@gmail.com

* 通讯联系人, E-mail: bqshan@rcees.ac.cn

周丛生物(periphyton)又名着生藻类、着生生物或者周丛藻类,包括藻类、细菌、真菌、动物、有机或无机碎屑等,附着在基质上生长的生物群落,其着生基质可以是有机、无机的,或是有生命、无生命的^[10].周丛生物是河流生态系统的重要组成部分^[11],它位于生物群落与外界物理、化学环境之间的界面之处^[12].利用周丛生物作为环境变化^[13,14],以及河流^[15]、湖泊^[16]和湿地^[17]生态系统修复的指示物已有多年历史.周丛生物与大多数植物一样,其元素组成可随环境变化而产生较大范围改变^[18].曾有室内模拟实验表明,其 N:P 计量比可随水体 TN:TP 变化而变化^[19].本研究利用生态计量学手段,探索海河流域氮磷失衡条件下,周丛生物元素计量比对水质变化的响应规律,以期为进一步研究人类污染对整个生态系统元素循环的影响做出初

步研究依据.

1 材料与方法

1.1 采样点选择与水体采集

潮白河发源于密云水库,水库上游为潮河和白河.由于潮河部分河段水资源短缺,断流严重,因此选取白河和密云水库下游的潮白河以及各自相应的支流作为研究对象.根据河流地理地貌特征,研究共布设 55 个采样点(图 1),白河采样点间隔 5 km 左右,潮白河间隔 10 km 左右.共有 36 个采样点发现周丛生物,其中白河所有采样点均发现周丛生物生存,而在潮白河只有 4 个点采集到.有周丛生物的采样点采集水体样品以及 3~5 个周丛生物平行样,没有周丛生物的采样点则只采集水样.

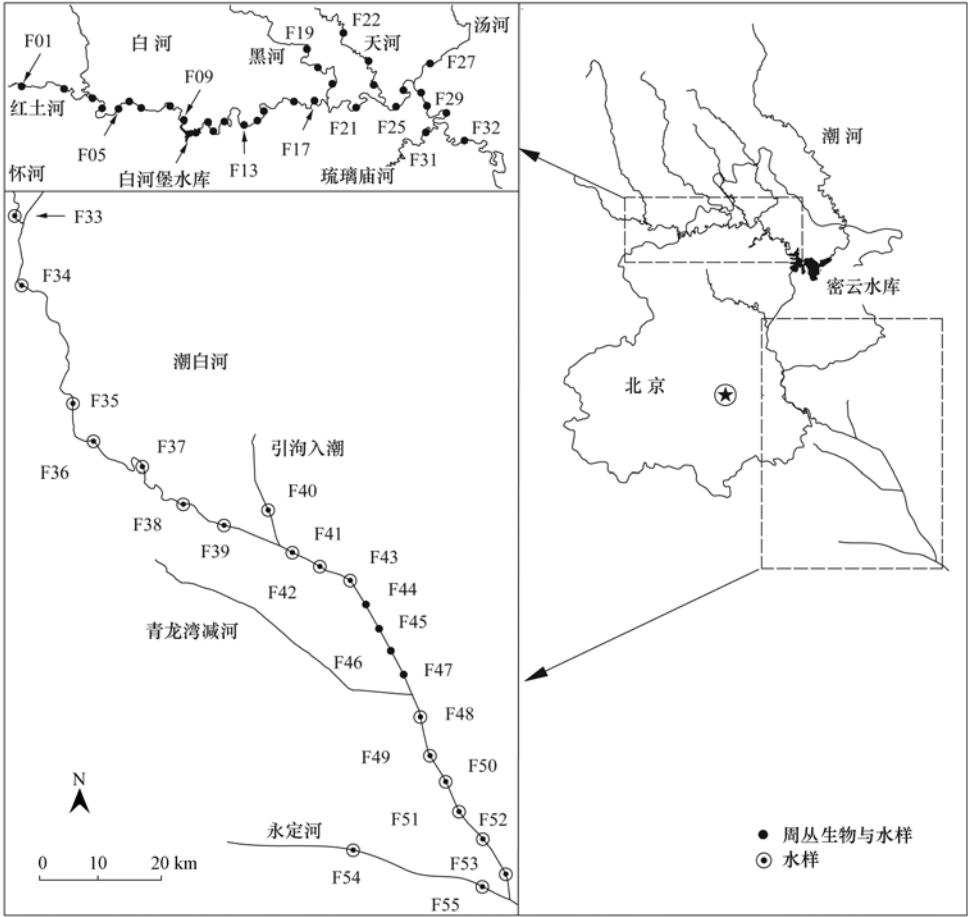


图 1 潮白河位置及采样地点示意

Fig. 1 Location of the Chaobai River and distribution of sampling sites

1.2 周丛生物样品采集

除了养分等化学因素以外,影响周丛生物分布的因素还有光照、温度、基质、流速、水深、浊度和食植者取食^[20]等物理环境因素.在研究养分对周丛生

物的影响时,需避免采集地之间的物理环境存在较大差异的因素.本研究采用的环境条件如下:水深: 0.1~0.3 m; 流速: 0.05~0.2 m·s⁻¹; 浊度: <5 NTU; 基质: 石块.采用尼龙刷将周丛生物从石块表

面刷洗下来,用去离子水冲洗至样品瓶内^[21].采集的样品保存在 -16°C 的车载冰箱 (Mobicool) 内,随后转移至实验室进行元素分析.

1.3 样品分析

1.3.1 水体成分分析

pH 值、氧化还原电位 (ORP) 和电导率采用 YSI PRO 1020 水质分析仪现场测定. 其余指标需保存后带回实验室分析. 保存方法采用优级纯硫酸酸化至 $\text{pH} < 2$ 并于 72 h 内测定^[22]. 用于氨氮 (NH_4^+-N)、硝氮 (NO_x^--N , 包括硝态氮 NO_3^--N 和亚硝态氮 NO_2^--N) 测定的水样经过 $0.45\ \mu\text{m}$ 的玻璃纤维滤膜过滤; 而用于总氮 (TN)、总磷 (TP) 测定的水样则不过滤. 使用 SKALAR San++ 连续流动分析仪分析水体 NH_4^+-N 和 NO_x^--N 含量. TN 测定采用碱性过硫酸钾法消解水样后,再经流动分析测试并按以下公式计算获得: $\text{TN} = \text{NH}_4^+-\text{N} + \text{NO}_x^--\text{N}$. TP 采用电感耦合等离子体质谱仪 (ICP-MS) 分析获得. TOC 则采用 Tekmar Phoenix 8000 分析.

1.3.2 周丛生物 C、N 和 P 含量分析

样品用真空冷冻干燥机于 -50°C 冷冻干燥后,在水晶钵中研磨至可通过 100 目尼龙筛的粉末. 从中取出 0.15 g 用 3:1 比例的优级纯浓硝酸和双氧水浸泡过夜后,在 CEM MARS 5 的微波消解装置中消解,定容后用电感耦合等离子体发射光谱法 (ICP-OES) 测定 P 含量. 另取 10 mg 左右样品,于 Elementar Vario EL III 元素分析仪下,分析 C 元素和 N 元素含量. 以上标准样品均采用 GBW10025 螺旋藻作为基准物.

1.3.3 统计分析与绘图

统计分析采用 IBM PASW Statistics 18 软件,图形绘制采用 Origin 8.0 软件. 均值分析用于比较有、无周丛生物生存水体的理化指标差异. 采用二元 Logistic 回归分析的方法分析影响周丛生物存在与否的水质理化因素. 相关分析用于研究影响周丛生物生态计量变化的内在关系,以及受水体影响的因素. 数据首先进行探索分析 (explorer analysis),结果表明,其数据结构不符合正态分布,因此不能采用 Pearson 相关分析,而是采用非参数相关分析 (spearman correlation)^[23].

2 结果与分析

2.1 水体理化指标

从图 2 中可以看出,上游白河水体中 TOC、TN、 NO_x^--N 、 NH_4^+-N 和 TP 明显低于下游潮白河,表明下

游水体受人为污染较严重. 白河 TN 的结构主要以 NO_x^--N ($2.4\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) 为主,占 TN 的 38%, NH_4^+-N ($0.1\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) 仅占 1.6%; 潮白河则以 NH_4^+-N ($5.5\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) 为主,占 TN 的 52%,而 NO_x^--N ($2.9\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) 含量与白河差距不大,占潮白河 TN 的 28%. 因此在氮污染结构上,引起下游 TN 增高的主要因素是 NH_4^+-N 排放量的增加. 对于 TP,潮白河 ($0.104\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) 平均浓度比白河 ($0.005\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) 增加了约 21 倍. pH 变化范围在 7.9~10.4 之间,水体略呈碱性. 在潮白河接近入海口河段处,电导率有大幅度上升,显示出盐度的上升. 氧化还原电位自上游向下游逐步下降,表明水体氧化性逐渐降低,还原性物质如有机物等升高,并且 TOC 的大幅升高验证了该推测.

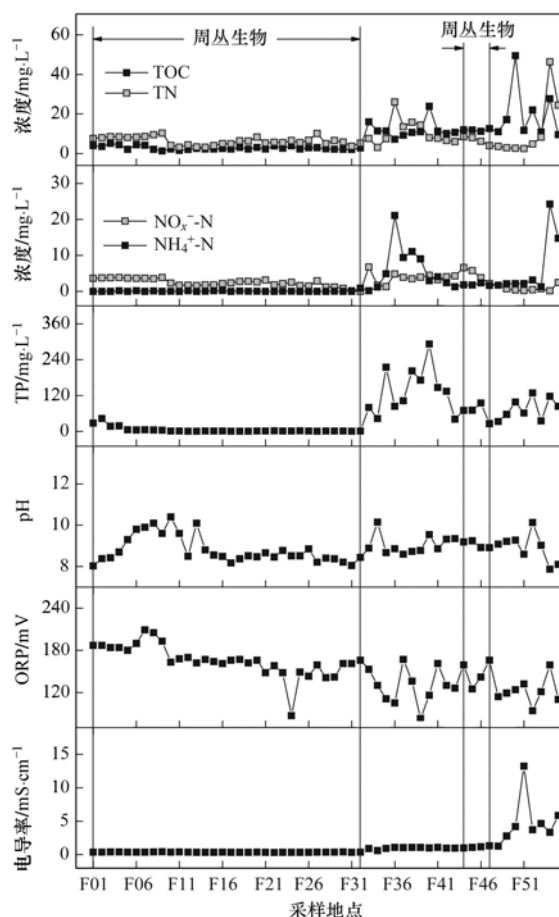


图 2 白河、潮白河水体理化性质空间分布

Fig. 2 Spatial distributions of water quality parameters in the Baihe and Chaobai River

2.2 周丛生物元素含量分布

周丛生物 C、N、P 元素含量的变化趋势非常相似 (图 3). 从空间分布来看,潮白河周丛生物的 P 含量明显增加 (F44~F48). 将 3 种元素做均值分析,

潮白河周丛生物的 C、N、P 含量(碳:1.8 mmol·g⁻¹; 氮:16.4 mmol·g⁻¹; 磷:0.11 mmol·g⁻¹)比白河周丛生物相应元素含量(碳:1.3 mmol·g⁻¹; 氮:13.5 mmol·g⁻¹; 磷:0.06 mmol·g⁻¹)均有上升. 白河和潮白河周丛生物 C、N、P 的变异系数分别为:0.55、0.41、0.62 和 0.24、0.13、0.18. 白河周丛生物元素含量变化较大,表明其养分限制情况较严重,水体处于贫营养化的养分状态. 而潮白河的人为干扰较为严重,水质养分供给则比较充足,因此其元素含量变化较小.

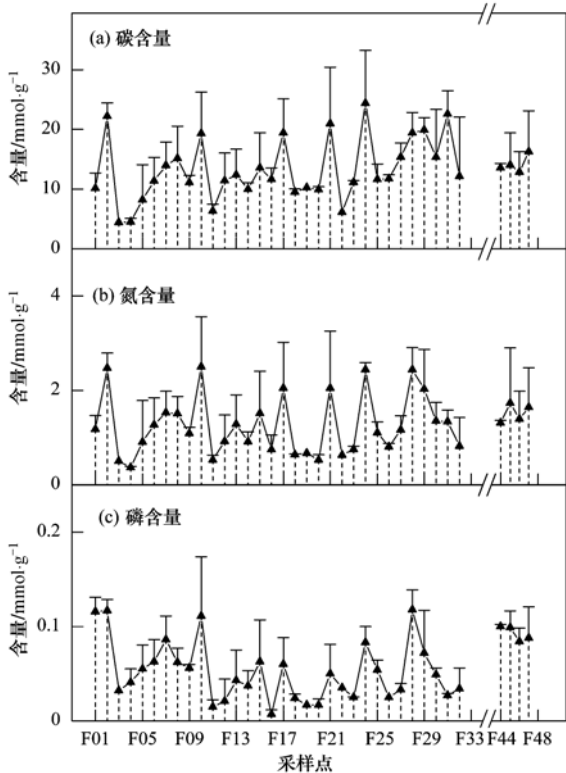


图 3 不同地点周丛生物碳氮磷元素含量
Fig. 3 Carbon, nitrogen and phosphorus content of periphyton in different locations

3 讨论

3.1 影响周丛生物分布的因素

均值分析理化参数 TOC、TN、NO_x⁻-N、NH₄⁺-N、TP、pH、ORP 和电导率表明,没有周丛生物生存的水体养分浓度要高于有生存的(表 1). 其中 NH₄⁺-N 和 TP 分别高达 21 倍和 11 倍; 其次则是电导率和 TOC 的含量明显不同. 从养分浓度均值分布可以初步看出,随着水体富营养化的加剧,周丛生物出现灭绝.

为进一步分析影响周丛生物分布的因素,将上述理化参数作自变量,将是否有周丛生物这一现象做因变量(有为 1,没有为 0),进行做二元 Logistic 回归分析,方法采用“向前: 条件”. 分析结果表明, Cox & Snell 决定系数和 Nagelkerke 决定系数分别为 0.601 和 0.829, Hosmer 与 Lemeshow 检验显著性 Sig. = 0.911,均显示模型的拟合度非常好; 分类表显示周丛生物在水体中有、无的预测正确率分别为 91.7% 和 94.7%. 回归模型分析表明 TP 可以预测 87.3% 的正确率(Chi-square = 42.321, P < 0.001). 因此,结合以上的均值分析可以得出 TP 成为影响周丛生物生存与否的关键因素.

白河水体 TP 含量位于国家 I 类水质标准 (≤0.02 mg·L⁻¹) 范围内,而潮白河水质则属于 II ~ IV 类水 (0.02 ~ 0.3 mg·L⁻¹). TP 的增加导致水体富营养化,使得浮游藻类的繁殖大量增加,减少了河流底部的光照,使得河流初级生产力由周丛生物向浮游生物演替.

3.2 周丛生物 C、N、P 元素间关系

C、N、P 元素之间均有较强相关关系(表 2),按照 C-N、N-P、C-P 顺序逐渐降低. 从细胞的元素组成上来看,核酸(DNA、mRNA、rRNA)和核苷酸(ATP、磷酸肌酸)含有 CNP 元素;其他细胞组成部分如碳

表 1 有无周丛生物的水体指标差异

Table 1 Differences of water pollutants in water containing periphyton or not									
状态	项目 ¹⁾	TOC /mg·L ⁻¹	TN /mg·L ⁻¹	NO _x ⁻ -N /mg·L ⁻¹	NH ₄ ⁺ -N /mg·L ⁻¹	TP /mg·L ⁻¹	pH	ORP /mV	电导率 /μS·cm ⁻¹
有 1	Mean ± SD	3.8 ± 3.0	6.4 ± 2.0	2.6 ± 1.4	0.3 ± 0.6	0.01 ± 0.02	8.83 ± 0.63	164 ± 22	0.5 ± 0.3
	Min ~ Max	1.3 ~ 12.7	3.2 ~ 1.4	0.0 ~ 6.6	0.0 ~ 2.4	0.0 ~ 0.09	8.03 ~ 10.40	87 ~ 209	0.3 ~ 1.3
无 0	Mean ± SD	15.4 ± 9.9	11.2 ± 10.9	2.6 ± 1.9	6.3 ± 7.0	0.11 ± 0.07	9.00 ± 0.58	126 ± 22	2.6 ± 3.0
	Min ~ Max	7.2 ~ 49.5	2.5 ~ 46.4	0.2 ~ 6.8	0.2 ~ 24.3	0.03 ~ 0.29	7.87 ~ 10.15	83 ~ 167	0.6 ~ 13.2
无周丛生物生存的水体 参数为有生存的倍数		4	2	1	21	11	1	1	6

1) Mean ± SD 表示均值 ± 标准差 (standard deviation); Min ~ Max: 表示最小值 (Minimum) 到最大值 (Maximum) 范围

水化合物、叶绿素以及绝大多数蛋白质含有 CN, 不含 P; 细胞的胞外分泌物 (extracellular organic

matters, EOM) 只含 C, 不含 NP^[24]. N 元素不会单独存在, 必定与 C 或 P 同时存在, 因此 N 在 C 和 P 之

表 2 周丛生物 CNP 元素之间以及与水体养分、理化性质间的相关关系 (Spearman)¹⁾

Table 2 Spearman correlations coefficients for periphyton CNP and water pollutants

项目	碳 C	氮 N	磷 P	TN	NO _x ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	TP	TN:TP	pH	ORP	电导率
氮 N	0.913^a	1.000	0.753^a	0.082	0.057	0.242	0.012	0.054	-0.136	-0.085	-0.052
磷 P	0.552^a	0.753^a	1.000	0.307	0.427^a	0.416^b	0.486^a	-0.458^a	0.027	0.212	0.305
N:P	0.015	0.259	-0.531^a	-0.372^b	-0.506^a	-0.329	-0.720^a	0.714^a	-0.257	-0.239	-0.491^a

1) 黑体表明显著相关,其中 a 代表在 0.01 水平下显著 (双尾); b 代表在 0.05 水平下显著 (双尾)

间起到了很强的“桥梁”作用. 而由于 EOM 的存在,使得 C 的含量较难反映细胞组成的变化. 藻类是周丛生物的主要构成部分,其 C 源主要来自水体溶解的 CO₂ 参与的光合作用,因此与水体 TOC 的关联不大. 综上所述,选取 N、P 作为研究对象,利用 N:P 作为周丛生物的生态计量学指示,可以较好反映周丛生物的元素组成状态,并用于进一步分析水体养分对周丛生物群落的元素组成影响.

3.3 周丛生物元素 N:P 比与水体养分的关系

尽管 Redfield^[25] 的研究表明海洋与周丛生物 C:N:P 都等于 106:16:1,而对周丛生物的研究发现最大生长速率的 C:N:P 为 119:17:1^[26]. 白河周丛

生物 N:P 均值为 28,而潮白河周丛生物 N:P 为 16. 显示出上游周丛生物处于 P 限制状态,而下游养分则充足.

将所有周丛生物样品 (含平行样) 的 N、P 作如图 4 所示的点状分布图. 从中可以看出, N、P 分布显著呈线性关系. 线性拟合 (强制截距为 0) 表明整个潮白河流域的 N:P 比例均值为 21. 将周丛生物的 N:P 与水体 TN:TP 做双坐标图,显示其变化趋势相一致. 表明周丛生物 N:P 比率可以较好的反映水体 TN:TP 的变化. 统计分析显示其相关性达到 0.714 ($P < 0.01$). 白河水体的 TN:TP 比值明显要高于潮白河,主要由于白河较低的 TP 浓度所致.

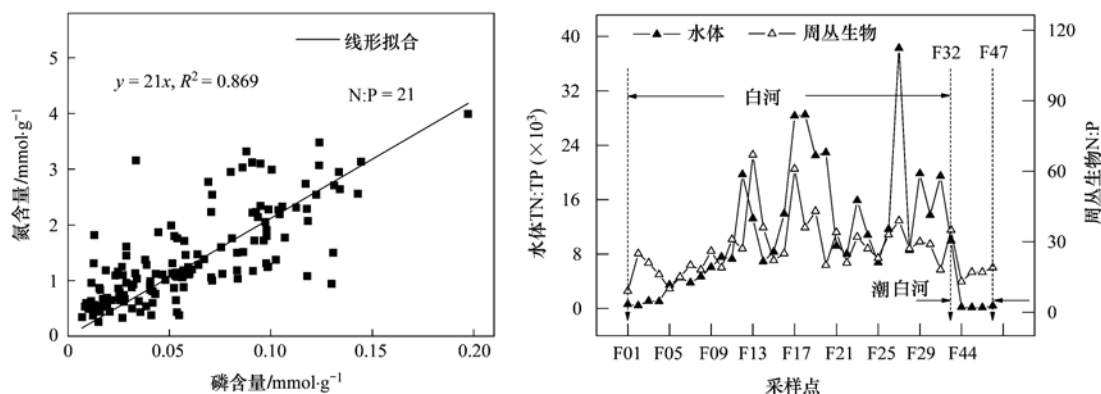


图 4 周丛生物 N:P 分布与水体 TN:TP 关系

Fig. 4 Relationships between N:P of periphyton and TN:TP of water

对于周丛生物群落结构组成来讲,引起其 N:P 变化的方式有以下 3 种可能:① 由 N 变化引起;② 由 P 变化引起;③ 由 N 和 P 同时变化引起. 前一小节对周丛生物内部元素关系分析的结果,实际上否定了①和②的可能性,因为 N 和 P 呈现较强的相关关系 ($r = 0.753$, $P < 0.01$). 因此,需要进一步分析这两种元素谁对 N:P 影响较大. 表 2 的相关分析显示, P 对 N:P 比率的影响最显著 ($r = -0.531$, $P < 0.01$). 换句话说,对于任何影响周丛生物 P 含量的因素,将显著影响到其 N:P 的比值. 另外表 2 也显示 NO_x⁻-N、NH₄⁺-N、TP 都对 P 含量有显著影响. 但由于 NO_x⁻-N 和 TP 之间存在较强相关性 ($r = -0.644$,

$P < 0.01$), 因此不能排除是由于 TP 造成的影响而得出 NO_x⁻-N 也能对 N:P 产生影响. NH₄⁺-N 也可影响周丛生物 P 含量,但显著性较弱 ($r = 0.416$, $P < 0.05$). 早期研究表明,氨氮的浓度超过 0.028 mg·L⁻¹ 会阻止部分浮游生物的生长和光合作用^[27]. 但周丛生物仍能够生存于该水体,表明其能够耐受相当浓度的 NH₄⁺-N 胁迫,而这种在污染胁迫下的周丛生物群落的元素组成也发生了相应的改变.

由于电导率是反映水体离子浓度的大小的指标,而电导率与 N:P 呈负相关,从表 2 可以看出随着离子浓度的增加,周丛生物 N:P 比值变小,而离子中的 TP 实际上才是引发周丛生物 N:P 变化的关

键污染因子。

周丛生物是浅水河流的主要初级生产力,是生态系统营养级的最低一层。由于潮白河水体氮、磷失衡导致周丛生物群落 N:P 的比例发生变化,这种养分结构变化对于高一级营养级的生物如田螺、虾、鱼的生长速率、种群选择以及生态系统的元素循环都会产生影响。这种变化究竟引起周丛生物群落结构产生怎样的改变,以及这些影响对高一级营养级生物群落结构和元素循环产生什么影响,还有待于进一步研究来揭示。

4 结论

(1)影响潮白河流域周丛生物生存与否的关键因子是 TP。

(2)周丛生物的 CNP 元素间均存在相关性,其中 C-N 和 N-P 相关性较强,而 C-P 间相关关系较弱,N 在周丛生物群落的元素组成中起“桥梁”作用。

(3)周丛生物群落的 N:P 会跟随水体 TN:TP 的变化而变化。水体中影响周丛生物 N:P 的主要因素仍然是 TP。

参考文献:

- [1] 海河流域水资源公报 [R]. 北京:海河流域水资源保护局, 2009. 19-20.
- [2] Sterner R W, Elser J J, Sven Erik J, *et al.* Encyclopedia of ecology [M]. Oxford: Academic Press, 2008. 1101-1116.
- [3] 曾德慧, 陈广生. 生态化学计量学: 复杂生命系统奥秘的探索 [J]. 植物生态学报, 2005, **29**(6): 1007-1019.
- [4] Frost P C, Cross W F, Benstead J P. Ecological stoichiometry in freshwater benthic ecosystems: an introduction [J]. Freshwater Biology, 2005, **50**(11): 1781-1785.
- [5] 阎恩荣, 王希华, 周武. 天童常绿阔叶林演替系列植物群落的 N:P 化学计量特征 [J]. 植物生态学报, 2008, **32**(1): 13-22.
- [6] 吴福忠, 包维楷, 吴宁. 外源施 N 对干旱河谷白刺花 (*Sophora davidii*) 幼苗生长、生物量及 C、N、P 积累与分配的影响 [J]. 生态学报, 2008, **28**(8): 3817-3824.
- [7] 甘露, 陈伏生, 胡小飞, 等. 南昌市不同植物类群叶片氮磷浓度及其化学计量比 [J]. 生态学杂志, 2008, **27**(3): 344-348.
- [8] 任书杰, 于贵瑞, 陶波, 等. 中国东部南北样带 654 种植物叶片氮和磷的化学计量学特征研究 [J]. 环境科学, 2007, **28**(12): 2665-2673.
- [9] 万宏伟. 内蒙古高原成熟和退化羊草草原群落物种功能特性与土壤微生物量 C、N、P 对氮素添加响应 [D]. 北京: 中国科学院研究生院 (植物研究所), 2006.
- [10] Wetzel R G. Limnology [M]. (2nd ed). Philadelphia: Saunders College Publishing, 1983. 743.
- [11] Barbour M T, Gerritsen J, Snyder B D, *et al.* Rapid bioassessment protocols for use in streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates, and Fish [M]. Washington DC 20460: Chris Faulkner Office of Water USEPA, 1998.
- [12] Pringle C M, Triska F J. Methods in stream ecology [M]. San Diego: Academic Press, 2006. 743-744.
- [13] McCormick P V, Cairns J. Algae as indicators of environmental change [J]. Journal of Applied Phycology, 1994, **6**(5-6): 509-526.
- [14] Stevenson R J, Bothwell M L, Lowe R L. Algal ecology: freshwater benthic ecosystems [M]. San Diego: Academic Press, 1996. 341-373.
- [15] Vis C, Hudon C, Cattaneo A, *et al.* Periphyton as an indicator of water quality in the St Lawrence River (Québec, Canada) [J]. Environmental Pollution, 1998, **101**(1): 13-24.
- [16] Vinebrooke R D. Epilithic algae as indicators of biological recovery in acid-stressed lakes [D]. Canada: University of Toronto, 1994.
- [17] Gaiser E. Periphyton as an indicator of restoration in the Florida Everglades [J]. Ecological Indicators, 2008, **9**(6): S37-S45.
- [18] Elser J J, Sterner R W, Vitousek P M. Ecological stoichiometry: the biology of elements from molecules to the biosphere [M]. Princeton: Princeton University Press, 2002.
- [19] Stelzer R S, Lamberti G A. Effects of N:P ratio and total nutrient concentration on stream periphyton community structure, biomass, and elemental composition [J]. Limnology and Oceanography, 2001, **46**(2): 356-367.
- [20] Stevenson R, Bothwell M, Lowe R. Algal ecology: freshwater benthic ecosystems [M]. New York: Academic Press, 1996.
- [21] Wetzel R L. Methods and measurements of periphyton communities: a review [M]. Philadelphia: American Society for Testing and Materials International, 1979.
- [22] 国家环境保护局. 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.
- [23] Conover W J. Practical nonparametric statistics [M]. Wiley, 1998. 592.
- [24] Pivokonsky M, Kloucek O, Pivokonska L. Evaluation of the production, composition and aluminum and iron complexation of algogenic organic matter [J]. Water Research, 2006, **40**(16): 3045-3052.
- [25] Redfield A C. The biological control of chemical factors in the environment [J]. American Scientist, 1958, **46**(3): 205-221.
- [26] Hillebrand H, Sommer U. The nutrient stoichiometry of benthic microalgal growth: redfield proportions are optimal [J]. Limnology and Oceanography, 1999, **44**(2): 440-446.
- [27] Abielovich A, Azov Y. Toxicity of ammonia to algae in sewage oxidation ponds [J]. Applied and Environmental Microbiology, 1976, **31**(6): 801-806.

CONTENTS

Quantitative Estimation Source of Urban Atmospheric CO ₂ by Carbon Isotope Composition	LIU Wei, WEI Nan-nan, WANG Guang-hua, <i>et al.</i> (1041)
Moisture Sources of Guangzhou During the Freezing Disaster Period in 2008 Indicated by the Stable Isotopes of Precipitation	LIAO Cong-yun, ZHONG Wei, MA Qiao-hong, <i>et al.</i> (1050)
Optical Properties of Aerosol During Haze-Fog Episodes in Beijing	YU Xing-na, LI Xin-mei, DENG Zen-grandeng, <i>et al.</i> (1057)
Secondary Organic Tracers in Summer PM _{2.5} Aerosols from Baima Spring Scenic Area, Yaan, Sichuan Province	DAI Dong-jue, LI Li, LIU Zi-fang, <i>et al.</i> (1063)
Source Profile and Chemical Reactivity of Volatile Organic Compounds from Vehicle Exhaust	QIAO Yue-zhen, WANG Hong-li, HUANG Cheng, <i>et al.</i> (1071)
<i>Platanus orientalis</i> Foliar N% and δ ¹⁵ N Responses to Nitrogen of Atmospheric Wet Deposition in Urban Area	WANG Yan-li, XIAO Hua-yun, XIAO Hong-wei (1080)
Distribution and Controlling Factors of Nitric Oxide Concentrations in Surface Seawater of Jiaozhou Bay and Adjacent Waters	XUE Chao, LIU Chun-ying, YANG Gui-peng, <i>et al.</i> (1086)
Uncertainty Characterization Approaches for Ecological Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon in Taihu Lake	GUO Guang-hui, WU Feng-chang, HE Hong-ping, <i>et al.</i> (1091)
Preliminary Analysis of Spatiotemporal Variation of Water Quality and Its Influencing Factors in the Jiulong River Watershed	HUANG Jin-liang, HUANG Ya-ling, LI Qing-sheng, <i>et al.</i> (1098)
Ecological Stoichiometric Relationships of Periphyton Community Elemental Composition and Variations of Water Quality in the Chaobai River	 CUI Jing-guo, SHAN Bao-qing, WANG Shuai (1108)
Diurnal Variation and Evaluation of Water Quality of Panxi River in Spring	ZHANG Qian-qian, WANG Xiao-ke, HAO Li-ling, <i>et al.</i> (1114)
Weathering Seasonal Variations in Karst Valley in Southwest China	XIAO Qiong, SHEN Li-cheng, YANG Lei, <i>et al.</i> (1122)
Algal Community Structure and Water Quality Assessment on Drawdown Area of Kaixian Waters in Three Gorges Reservoir During Winter Storage Period	 GUO Jing-song, XIE Dan, LI Zhe, <i>et al.</i> (1129)
Characteristics of Phytoplankton Community Changes in Dianshan Lake During Peak Period of Algal Blooms	XU Chun-yan, YANG Jie, MA Ming-rui, <i>et al.</i> (1136)
Nitrogen and Phosphorus Release from Herbaceous Vegetation Under Simulated Inundation Experiment of Water-Level Fluctuation Zone in the Three Gorges Reservoir Area	 WANG Jian-chao, ZHU Bo, WANG Tao, <i>et al.</i> (1144)
Output Characteristics of Non-point Phosphorus from a Typical Small Watershed in Yimeng Mountainous Area Under the Special Rainfall	LI Zhen-wei, YU Xing-xiu, LIU Qian-jin, <i>et al.</i> (1152)
Distribution and Bioavailability of Nitrogen and Phosphorus Species in the Urban Dusts from Hefei City	LI Ru-zhong, ZHOU Ai-jia, TONG Fang, <i>et al.</i> (1159)
Distribution and Pollution Characteristics of Nutrients and Heavy Metals in Sediments of Hedi Reservoir	ZHANG Hua-jun, CHEN Xiu-kang, HAN Bo-ping, <i>et al.</i> (1167)
Heavy Metals Distribution and Risk Assessment of Sediments in the Riverine Wetland of Sanmenxia Reservoir	AO Liang, SHAN Bao-qing, ZHANG Hong, <i>et al.</i> (1176)
Regional Distribution and Ecological Risk Evaluation of Heavy Metals in Surface Sediments from Coastal Wetlands of the Yellow River Delta	 LIU Zhi-jie, LI Pei-ying, ZHANG Xiao-long, <i>et al.</i> (1182)
Calculation of Environmental Dredging Depth of Heavy Metal Polluted Sediments in Zhushan Bay of Taihu Lake	JIANG Xia, WANG Wen-wen, WANG Shu-hang, <i>et al.</i> (1189)
Characteristics of PAHs Pollution in Sediments from Leizhou Coastal Marine Area, Liusha Bay and Shenzhen Bay	ZHAO Li-rong, SUN Sheng-li, KE Sheng (1198)
Distribution Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Black Carbon in Road Dusts from Typical Cities of China and India	PAN Su-hong, ZHANG Gan, SUN Ya-li, <i>et al.</i> (1204)
Waterborne Iron Migration by Groundwater Irrigation Pumping in a Typical Irrigation District of Sanjiang Plain	ZOU Yuan-chun, YU Xiao-fei, HUO Li-li, <i>et al.</i> (1209)
Research on Controlling Iron Release of Desalted Water Transmitted in Existing Water Distribution System	TIAN Yi-mei, LIU Yang, ZHAO Peng, <i>et al.</i> (1216)
Exploration of Newly-Formed Ferric as the Coagulant	YANG Xue, ZHANG Jing-cheng, GUAN Xiao-hong (1221)
Degradation of Medroxyprogesterone in Drinking Water by Ozone Oxidation	YUE Chan-yuan, MIAO Heng-feng, REN Hong-yan, <i>et al.</i> (1227)
Synthesis of Core/Shell Structured Magnetic Carbon Nanoparticles and Its Adsorption Ability to Chlortetracycline in Aquatic Environment	 WANG Yi-xuan, ZHANG Di, NIU Hong-yun, <i>et al.</i> (1234)
Removal of Nickel from Aqueous Solutions Using Complexation-Ultrafiltration Process	QIN Shu, SHAO Jia-hui, HE Yi-liang, <i>et al.</i> (1241)
Degradation of Organic Pollutants by Photo-Fenton-Like System with Hematite	ZHANG Yu, GU Yan, YANG Hui, <i>et al.</i> (1247)
Study on the Degradation of Atrazine in Photo-Fenton-Like System Under Visible Light Irradiation Promoted by N-doped Ta ₂ O ₅	ZHAO Lu, DENG Yi-rong, DU Ying-xun, <i>et al.</i> (1252)
Degradation of Prometon by O ₃ /H ₂ O ₂	LI Shao-feng, SUN Chu (1260)
Photoelectrocatalytic Degradation Kinetics of Malachite Green by Pr-N Co-doped TiO ₂ Photocatalyst	SHA Shuang, ZHOU Shao-qi, ZHANG Xiao-na, <i>et al.</i> (1267)
Experimental Study on Acid Mine Drainage Treatment Using Mine Tailings of Xiangsi Valley, Tongling, China	ZHANG Nan, CHEN Tian-hu, ZHOU Yue-fei, <i>et al.</i> (1272)
Effect of Polymeric Aluminum-iron on EPS and Bio-flocculation in A ² /O System	WEN Qin-xue, LIU Ai-cui, CHEN Zhi-qiang, <i>et al.</i> (1278)
Effect of Temperature on Pollutant Removal and Nitrous Oxide Emission of Wastewater Nitrogen Removal System	ZHANG Ting-ting, ZHANG Jian, YANG Fang, <i>et al.</i> (1283)
Effect of Temperature on Stability of Nitrogen Removal in the ANAMMOX Reactor	LI Xiang, HUANG Yong, ZHENG Yu-hui, <i>et al.</i> (1288)
Phosphorus Removal Characteristics by Aerobic Granules in Normal Molasses Wastewater After Anaerobic Treatment	WANG Shuo, YU Shui-li, SHI Wen-xin, <i>et al.</i> (1293)
Physicochemical Characteristics of Granules with Different Size in a Granular Sludge System for Phosphorus Removal	LI Zhi-hua, ZHANG Yu-rong, YANG Fan, <i>et al.</i> (1299)
Denitrifying Bacteria of Constructed Wetland System Based on Nitrous Oxide Reductase Gene (<i>nosZ</i>)	WANG Xiao-jun, CHEN Shao-hua, ZHANG Zhao-ji, <i>et al.</i> (1306)
Improving Degradation Ability of an Aerobic Denitrifier by Ultraviolet Mutagenesis	YU Jia-jia, CHEN Jun, YANG Xuan, <i>et al.</i> (1313)
Characteristics of the Extracellular Polymeric Substances of a Heterotrophic Nitrifying Bacterium Strain	CHEN Zhe, ZHANG Bin, SEN Zhi-qiang, <i>et al.</i> (1318)
Study on Toxic Effects of Ammonia on Embryonic and Yolk-sac Stage Larvae of Rare minnow	WANG Zhi-jian, LU Zeng-hui, SHI Ping (1323)
Effects of Continuous Cropping of Vegetables on Ammonia Oxidizers Community Structure	MENG De-long, YANG Yang, WU Yan-zheng, <i>et al.</i> (1331)
Impact of Biochar Amendment on the Sorption and Dissipation of Chlorantraniliprole in Soils	WANG Ting-ting, YU Xiang-yang, SHEN Yan, <i>et al.</i> (1339)
Quantifying Rice (<i>Oryza sativa</i> L.) Photo-assimilated Carbon Input into Soil Organic Carbon Pools Following Continuous ¹⁴ C Labeling	NIE San-an, ZHOU Ping, GE Ti-da, <i>et al.</i> (1346)
Compositions and Diagnostic Ratios of Heavily Degraded Crude Oil Residues in Contaminated Soil in Oilfields	WANG Jian, ZHANG Xu, LI Guang-he (1352)
Study on Equilibrium Adsorption of Volatile Chlorinated Hydrocarbons on Humid Soils	MENG Fan-yong, LIU Rui, Kobayashi Takeshi, <i>et al.</i> (1361)
Toxicity and Accumulation of Copper and Nickel in Wheat Plants Cropped on Alkaline and Acidic Field Soils	HUANG Jin-sun, WEI Dong-pu, GUO Xue-yan, <i>et al.</i> (1369)
Change Traits of Phosphorous Consumption Structure in China and Their Effects on Environmental Phosphorous Loads	MA Dun-chao, HU Shan-ying, CHEN Ding-jiang, <i>et al.</i> (1376)
Research Based on 3MRA Model About the Risk Assessment Methods and Applications of the Landfill Waste	YUAN Ying, XI Bei-dou, HE Xiao-song, <i>et al.</i> (1383)
Impacts of Initial Moisture Content of MSW Waste on Leachate Generation and Modified Formula for Predicting Leachate Generation	LAN Ji-wu, ZHAN Liang-tong, LI Yu-chao, <i>et al.</i> (1389)
Transformation of Dibutyl Phthalate in Bioreactor Landfill	FANG Cheng-ran, LONG Yu-yang, SHEN Dong-sheng (1397)
Kriging Analysis of Vegetation Index Depression in Peak Cluster Karst Area	YANG Qi-yong, JIANG Zhong-cheng, MA Zu-lu, <i>et al.</i> (1404)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2012年4月15日 33卷 第4期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 4 Apr. 15, 2012

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: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行人