

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 14 期 Vol.32 No.14 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 14 期

2012 年 7 月 (半月刊)

目 次

海滨沙地砂引草对沙埋的生长和生理适应对策.....	王 进,周瑞莲,赵哈林,等 (4291)
外源 K ⁺ 和水杨酸在缓解融雪剂对油松幼苗生长抑制中的效应与机理 ...	张 营,李法云,严 霞,等 (4300)
钱塘江中游流域不同空间尺度环境因子对底栖动物群落的影响.....	张 勇,刘朔孺,于海燕,等 (4309)
贡嘎山东坡非飞行小型兽类物种多样性的垂直分布格局.....	吴永杰,杨奇森,夏 霖,等 (4318)
基于斑块的红树林空间演变机理分析方法.....	李春干,刘素青,范航清,等 (4329)
亚热带六种天然林树种细根养分异质性.....	熊德成,黄锦学,杨智杰,等 (4343)
浙江省植被 NDVI 动态及其对气候的响应	何 月,樊高峰,张小伟,等 (4352)
亚热带 6 种天然林树种细根呼吸异质性.....	郑金兴,熊德成,黄锦学,等 (4363)
亚高山/高山森林土壤有机层氨氧化细菌和氨氧化古菌丰度特征	王 奥,吴福忠,何振华,等 (4371)
耕作方式对紫色水稻土轻组有机碳的影响.....	张军科,江长胜,郝庆菊,等 (4379)
火烧对长期封育草地土壤碳固持效应的影响.....	何念鹏,韩兴国,于贵瑞,等 (4388)
闽江河口潮汐湿地二氧化碳和甲烷排放化学计量比.....	王维奇,曾从盛,仝 川,等 (4396)
2010 年夏季珠江口海域颗粒有机碳的分布特征及其来源	刘庆霞,黄小平,张 霞,等 (4403)
新疆冷泉沉积物葡萄糖利用细菌群落多样性的稳定同位素标记分析.....	楚 敏,王 芸,曾 军,等 (4413)
土壤微生物群落多样性解析法:从培养到非培养.....	刘国华,叶正芳,吴为中 (4421)
伊洛河河岸带生态系统草本植物功能群划分	郭屹立,卢训令,丁圣彦 (4434)
濒危植物蒙古扁桃不同地理种群遗传多样性的 ISSR 分析	张 杰,王 佳,李浩宇,等 (4443)
强潮区较高纬度移植红树植物秋茄的生理生态特性.....	郑春芳,仇建标,刘伟成,等 (4453)
冬季高温对白三叶越冬和适应春季“倒春寒”的影响	周瑞莲,赵 梅,王 进,等 (4462)
中亚热带细柄阿丁枫和米槠群落细根的生产和死亡动态.....	黄锦学,凌 华,杨智杰,等 (4472)
欧美杨水分利用效率相关基因 <i>PdEPF1</i> 的克隆及表达	郭 鹏,金 华,尹伟伦,等 (4481)
再力花地下部水浸提液对几种水生植物幼苗的化感作用.....	缪丽华,王 媛,高 岩,等 (4488)
无致病力青枯雷尔氏菌对烟草根系土壤微生物脂肪酸生态学特性的影响.....	郑雪芳,刘 波,蓝江林,等 (4496)
基于更新和同化策略相结合的遥感信息与水稻生长模型耦合技术的研究.....	王 航,朱 艳,马孟莉,等 (4505)
温度和体重对克氏双锯鱼仔鱼代谢率的影响.....	叶 乐,杨圣云,刘 敏,等 (4516)
夏季西南印度洋叶绿素 a 分布特征.....	洪丽莎,王春生,周亚东,等 (4525)
大沽排污河生态修复河道水质综合评价及生物毒性影响.....	王 敏,唐景春,朱文英,等 (4535)
李肖叶甲成虫数量及三维空间格局动态.....	汪文俊,林雪飞,邹运鼎,等 (4544)
专论与综述	
基于景观格局的城市热岛研究进展	陈爱莲,孙然好,陈利顶 (4553)
沉积物质量评价“三元法”及其在近海中的应用	吴 斌,宋金明,李学刚,等 (4566)
问题讨论	
中国餐厨垃圾处理的现状、问题和对策	胡新军,张 敏,余俊锋,等 (4575)
研究简报	
稻秸蓝藻混合厌氧发酵沼液及其化学物质对尖孢镰刀菌西瓜专化型生长的影响.....	刘爱民,徐双锁,蔡 欣,等 (4585)
佛山市农田生态系统的生态损益.....	叶延琼,章家恩,秦 钟,等 (4593)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 314 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 33 * 2012-07



封面图说: 噶龙山南坡的高山湖泊——喜马拉雅山南坡的噶龙山光照强烈、雨量充沛,尽管是海拔 4500 多米的高寒地区,山上的草甸依然泛着诱人的翠绿色,冰川和雪山的融水汇集在山梁的低洼处形成了一个又一个的高山湖泊,由于基底的差别和水深的不同,使得纯净清澈的冰雪融水在湖里呈现出不同的颜色,湖面或蓝或绿,颜色或深或浅,犹如一块块通透透明的翡翠镶嵌在绿色的绒布之中。兰天下面,白云落在山间,通往墨脱的公路像丝带一样随随便便地缠绕着,一幅美丽的自然生态画卷就这样呈现在你的面前。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201106210898

王敏,唐景春,朱文英,梁霍燕,王如刚. 大沽排污河生态修复河道水质综合评价及生物毒性影响. 生态学报, 2012, 32(14): 4535-4543.

Wang M, Tang J C, Zhu W Y, Liang H Y, Wang R G. Evaluation of the effects of ecological remediation on the water quality and biological toxicity of Dagou Drainage River in Tianjin. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(14): 4535-4543.

大沽排污河生态修复河道水质综合评价 及生物毒性影响

王 敏, 唐景春*, 朱文英, 梁霍燕, 王如刚

(南开大学环境科学与工程学院/环境污染过程与基准教育部重点实验室/天津市城市生态环境修复与污染防治重点实验室, 天津 300071)

摘要: 为了改善城市河道水质, 实现排污河污染控制与修复, 在天津市大沽排污河的上游代表性河段开展了河道原位生态修复工程示范。对植物修复后河道的污染状况进行了监测和分析, 与清洁河道做了比较, 并对水质修复效果和生物毒性影响状况进行综合分析和评价, 研究生态修复示范工程对排污河水质的修复效果和生态效应。结果表明: 经种植水葱等水生植物进行生态修复后, 河道污染一定程度上降低, 水质得到改善。大沽河主要污染是营养元素 N、P 污染和有机物污染, 重金属污染不严重。植物修复对电导率、溶解性总固体(TDS)、盐度、氯化物有一定影响, 但影响不显著; 对 COD 等有机污染的修复效果较好, 最高去除效率可达 54%, 但相比清洁水域值依然较高, 有机污染依然较严重; 对营养元素 N、P 没有修复效果, 反而修复区有升高的趋势, 相对清洁水域污染严重。主成分分析表明水质参数主要是氨氮、总氮、总磷代表的营养元素及 pH 值、DO、电导率、TDS、盐度和氯化物, 综合评定结果显示修复区域芦苇根部水质最好; 聚类分析将 17 个水质指标分成 5 类, 并与主成分分析结果显示出一致性。植物根际周边的微生物数量多, 群落多样性高。植物修复对水样植物毒性影响明显, 能降低其毒性; 水样对发光菌均具有毒性作用, 存在潜在的急性生物毒性; 修复区水样对水生动物大型蚤不存在急性生物毒性。

关键词: 生态修复; 大沽排污河; 污染; 水质; 生物毒性

Evaluation of the effects of ecological remediation on the water quality and biological toxicity of Dagou Drainage River in Tianjin

WANG Min, TANG Jingchun*, ZHU Wenying, LIANG Huoyan, WANG Rugang

College of Environmental Science and Engineering, Nankai University / Key Laboratory of Pollution Processes and Environmental Criteria (Ministry of Education) / Tianjin Key Laboratory of Environmental Remediation and Pollution Control, Tianjin 300071, China

Abstract: An ecological restoration project was conducted in the upstream portion of the Dagou River to improve the urban river water quality as well as to achieve pollution control and remediation of a sewage drainage river. Plant species for phytoremediation were screened and different species were used in the field project. The growth occurred in the following order: macrophytes > slope plants > submerged plants; among different microphytes, *Sagittaria sagittifolia* > *Phragmites australis* > *Scirpus tabernaemontani* > *Typha angustata* > *Iris pseudacorus*; among floating plants, Water lily > Lotus. The pollution status of the water body in the phytoremediation area was monitored and compared with that of a clean water area in Mati Lake at Nankai University and the Outer Ring River of Tianjin. In addition, the effects of remediation on the water quality and ecological toxicity of the drainage water were analyzed and assessed comprehensively to show the effects of the ecological remediation project. The results showed that the water quality was improved by the cultivation of aquatic plants

基金项目: 天津市科技创新专项资金项目(08FDZDSF03402); 天津市科技支撑重点项目(11ZCGYSF01400); 中央高校基本科研业务费专项资金资助

收稿日期: 2011-06-21; 修订日期: 2012-02-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: tangjch@nankai.edu.cn

such as *Scirpus tabernaemontani*. N and P were found to be the main pollutants in the Dagū Drainage River, and heavy metal contamination was not serious. Phytoremediation affected conductivity, total dissolved solids (TDS), salinity and chloride content to some extent. Good remediation results were observed for organic pollutants such as COD, with a degradation rate of 54% around the plants. Water samples in the plant growth area showed much lower COD values than those from areas with no plant growth. The N and P values were also highly relative to clean water, which was assumed to be a result of the bottom sludge with low dissolved oxygen (DO) and pH conditions. Principal component analysis showed that the water quality parameters were mainly nutrient related substances such as ammonia, total nitrogen, total phosphorus, and other items such as pH, DO, conductivity, TDS, salinity and chloride. Comprehensive assessment showed that water quality in the reed root zone was the best. The 17 water quality parameters were grouped into five categories based on cluster analysis, which showed good consistency with the results of principal component analysis. The plate counting method result showed that the microbial numbers surrounding the rhizosphere were high and had higher species diversity. The number of bacteria was lower than that of fungi. Phytoremediation reduced the toxicity of water samples on root elongation of wheat. The water sample was toxic to luminescent bacteria, which indicated potential acute toxicity, but the difference was not significant. The water in the remediation area did not show acute toxicity against daphnia. Further screening of remediation plants should be conducted to identify plants species with higher nitrogen and phosphorus absorption ability to enable the removal of pollutants from contaminated river systems. Additionally, microbial consortium can be added to the water system to increase the decomposition of organic pollutants and transformation of toxic substances, which can improve the efficiency of remediation projects and realize ecological restoration of rivers.

Key Words: ecological remediation; Dagū Drainage River; pollution; water quality; biological toxicity

大沽排污河自 1965 年改造后,数十年来一直是天津市海河以南主要市政污水接纳水体,长期作为天津市城市污水和工业废水的排水通道,排污河水及沉积物中重金属污染具有潜在的污染危害^[1]。河道、湖泊等水体的生态修复近年来得到了重视,尤其是植物修复技术的应用研究越来越多^[2-4]。研究表明在湖泊河道污染治理技术研究与应用中,通过物理清淤、生态修复能够起到很好的治理效果^[5-6]。植物修复技术是一种用于清除环境中有毒有害污染物的绿色修复技术,能有效去除环境中的营养元素和重金属等^[7-11]。本研究在天津大沽排污河的代表性河段种植了经筛选的水生植物进行河道原位生态修复工程示范,运用了常规的水质污染检测、水质综合评价及生物毒性分析等研究方法对河道生态修复示范工程的修复效果及生态毒性做出评价。

1 材料与方法

1.1 研究区域及采样点位

本文研究区域选取大沽排污河示范工程修复区域(大沽排污河咸阳路污水厂至外环河段)进行采样分析,采样时间为 2010 年 11 月 17 日,每 4 个月采集 1 次水样。修复区内种植了芦苇、水葱和香蒲等水生植物。不同植物在修复在侯台河段的生长效果,初步结果显示各植物的生长效果为:挺水植物>护坡植物>沉水植物;挺水植物生长情况:慈姑>芦苇>水葱>菖蒲>水生鸢尾;浮水植物:睡莲>荷花。

采样设立对照区(CK)和修复区(TM)。对生态示范工程河段顺河流流向由南向北 6 处进行采样,采样点分别为 1 北桥中间、2 水葱根部、3 香蒲根部、4 水葱根部、5 芦苇根部、6 南桥中间,其中 1 号点是修复河段上游,6 号点是修复河段下游,2—5 号点是修复区,布点根据种植植物的种类和修复区域大小,采样点位置如图 1 所示;并在外环河、南开大学内马蹄湖采样作为清洁水体对照,污水口咸阳路污水厂排放口作为污染水体对照。水样采集按照《水和废水监测分析(第四版)》^[12]规定的标准方法进行。

1.2 水质指标监测分析

水样共测定 12 项水质理化指标(pH 值、溶解氧、电导率、溶解性总固体、盐度、COD、BOD₅、氨氮、总氮、总磷、氯化物、总悬浮固体)和 5 种重金属含量(Cr、Cd、Zn、Pb 和 Cu)。测定方法依据《水和废水分析方法(第四

版)》,个别项目参考国家标准,重金属测定采用原子吸收分光光度法。

1.3 水质评价方法——主成分分析法及聚类分析法

在水质分析过程中,单一的水质指标分析往往难以反映水体的总体情况。主成分分析法是设法将原来众多具有一定相关性的指标,重新组合成一组新的相互无关的综合指标并代替原来的指标,在水环境研究和河流湖泊等水质评价中得到较多应用^[13-16]。选用主成分分析法从监测的多个变量指标中选择出少数几个综合变量来代替原来的多个变量,使用 SPSS16.0 统计软件进行主成分分析。

将 9 个采样点的 12 项水体理化指标和 5 种重金属指标,利用 SPSS16.0 进行 R 型聚类分析^[17],R 型聚类可以反映出河道水质环境的重要特征。采用欧氏距离、组间连接法;聚类标准化采用 Z scores 方式。

1.4 微生物群落及生物急性毒性测试

水中微生物检测样品取自各采样点水体 10 cm 处,皆采用随机采样的方法。微生物的培养依照《环境生物学实验技术》^[18]的方法,采用常规的稀释分离平皿菌落计数法测定水样中的细菌、真菌数量,细菌用牛肉膏蛋白胨琼脂培养基、真菌用马铃薯培养基进行培养。细菌 37 ℃ 下培养 1—2 d 计数,真菌在 30 ℃ 下培养 5 d 计数。

生物毒性测试包括植物毒性、微生物毒性以及动物毒性测定,分别采用小麦发芽和根伸长试验、发光菌毒性试验以及大型蚤毒性试验。小麦发芽试验参考相关文献,以水样相对蒸馏水的芽长抑制率和根长抑制率来判定河水对植物生长毒性的大小。发光菌测定以原水样对发光菌发光强度的相对抑制率(%)作为评价依据,发光菌的发光与污染物的毒性成负相关^[19]。大型蚤毒性测定依据大型蚤测试标准方法(GB/T16125—1995),测定原水样中大型蚤 24 h 的死亡数。小麦种子购自天津农科院研究所,明亮发光杆菌冻干粉购自中国科学院南京土壤研究所微生物室,大型蚤购自中国预防医学科学院环境卫生所毒理室蚤种库。

1.5 数据分析

数据计算和图表制作在 Excel2003 和 Origin8.0 中进行,统计分析(主成分分析及聚类分析)由 SPSS16.0 软件完成。

2 结果与讨论

2.1 水质修复效果分析

2.1.1 水质监测结果

本文测定了 9 个水样的 12 项理化指标和 5 种重金属含量,结果见表 1。与 GB3838—2002《地表水环境质量标准》^[20]中 V 类水质标准比较,氨氮、总氮、总磷等无机营养盐和 COD、BOD₅ 有机物超标严重,各指标含量如表 1 所示。

由表 1 可知,各点 pH 值正常且差异不大,但均略低于马蹄湖水域。溶氧指标,2—5 号植物修复区的 DO 均低于标准,可能是因为植物的呼吸作用耗氧和植物覆盖水面减少富氧所致。水中 DO 浓度决定于光合放氧和分解耗氧之间的关系,主要受水生植物的生长节律控制^[21]。同一河段的电导率、溶解性总固体和盐度、氯化物基本无差异,高于外环河点和马蹄湖点但低于污水口处水域,表明修复河段降低了电导率、TDS 和盐度,但依然远大于清洁水体。氮磷污染指标中,除了马蹄湖符合标准,其它大沽河的各采样点均 N、P 严重超标,最高超标倍数总氮达到 17.88,总磷达到 7.83 倍。1—6 号点氮磷含量低于 8 号远高于 7 号,说明植物对营养

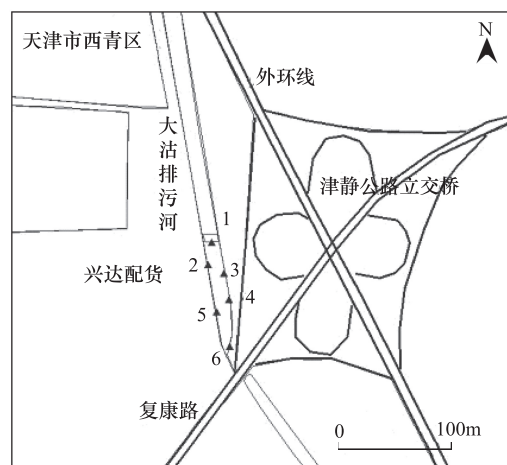


图 1 采样点位置示意图

Fig.1 Diagram of sampling sites

表 1 修复区水质理化指标分析测定及与参照区域的比较
Table 1 Analysis on the physico-chemical properties of the water in remediation area compared with reference area

采样点 Sampling points	位置 Site	pH	溶解氧 Dissolved oxygen /(mg/L)	电导率 Conductivity /(mS/cm)	溶解性总固体 Total dissolved solids /(mg/L)	总盐度 Total salinity /‰	化学耗氧量 COD /(mg/L)	生化需氧量 BOD ₅ /(mg/L)	氨氮 Ammonia nitrogen /(mg/L)	总氮 Total nitrogen /(mg/L)	总磷 Total phosphorus /(mg/L)	氯化物 Chloride /(mg/L)	总悬浮固体 Total suspended solids /(mg/L)
1	北桥中间	6.31	2.89	2.56	1302	1.3	128	29	20.24	33.30	2.92	323	6.5
2	水葱根部	6.36	1.57	2.57	1305	1.3	59	23	18.62	29.27	3.53	290	15.5
3	香蒲根部	6.36	1.62	2.57	1303	1.3	59	22	19.16	33.31	3.07	312	14
4	水葱根部	6.34	1.41	2.57	1305	1.3	99	23	20.43	32.33	2.90	310	0.5
5	芦苇根部	6.25	1.91	2.55	1296	1.3	69	16	22.43	32.92	3.00	329	2.5
6	南桥中间	6.35	2.51	2.55	1296	1.3	115	26	22.89	33.70	3.32	355	27.5
7	外环河	6.82	6.33	1.69	844	0.9	112	26	13.24	11.30	0.88	276	7.5
8	咸阳路污水 厂排污口	6.26	5.82	2.59	1314	1.3	95	24	14.81	37.75	3.16	389	14
9	马蹄湖	7.13	8.52	1.16	570	0.6	16	4	3.32	0.99	0.30	131	4
GB 3838—2002 地表水环 境质量标准 V 类水标准		6—9	2				40	10	2.00	2.00	0.40		150

元素的去除作用非常小,甚至增加了水中氨氮的含量,可能是植物促进了总氮向氨氮的转化。湖泊中水的氮磷含量跟底泥中的氮磷含量密切相关,氮磷可以从湖泊底泥释放到水中,这种释放过程不仅与存在的可交换的磷的多少有关还与 pH 值、氧化还原作用以及生物扰动等因子有关^[22],因此还可能是由于一些水质因子的变化使得底泥中的氮磷更多的释放到了水中导致了高浓度氮磷累积。有研究对湖泊中底泥磷的生物有效性做过评估,测定了总磷,水溶性磷等各种形态磷的含量^[23-24],植物吸收有效态的磷,因此磷的生物有效性发生改变也会影响植物对磷的吸收继而影响其修复效果。各点有机物污染也很严重,COD、BOD₅ 均超出标准,大沽河中 2—5 号点植物修复区的 COD、BOD₅ 低于污水排放口水域,其它点含量相对较大;和马蹄湖相比大沽河水域有机物污染严重,但是植物能有效降低有机物含量,修复效果显著,但离清洁水域标准还有一定距离。

表 2 是采集水样的重金属测定结果。水样中各重金属均不超标,各点基本不存在重金属污染问题,Cr、Zn 含量较高 Cu、Pb 和 Cd 含量较低。水样中各点的重金属含量差异不大,由于重金属含量较低所以植物对水中的重金属修复作用不显著。

表 2 水样重金属含量/(mg/L)

Table 2 Heavy metal content in remediation area and reference area

采样点 Sampling point	位置 Site	Cr	Cd	Zn	Pb	Cu
1	北桥中间	0.024	—	0.0912	—	0.00375
2	水葱根部	0.02675	0.0005	0.11905	—	0.00475
3	香蒲根部	0.031	—	0.107275	—	0.004
4	水葱根部	0.02875	0.00125	0.12815	—	0.0035
5	芦苇根部	0.0245	0.0025	0.168525	—	0.0025
6	南桥中间	0.0445	0.00225	0.13665	—	0.006
7	外环河	0.022	0.0005	0.03955	—	0.0015
8	咸阳路污水厂排污口	0.028	0.0005	0.116975	—	0.005
9	马蹄湖	0.02275	—	0.0856	—	0.00175
GB 3838—2002 地表水环境质量标准Ⅴ类水标准		0.1	0.01	2	0.1	1

2.1.2 主成分分析评价

对 9 个采样点水样的 12 项常规理化指标和 4 种重金属共 16 项指标按步骤进行主成分分析(因 Pb 含量各点都未检出,因此不纳入主成分分析指标中),利用主成分分析对水样水质进行综合评价。对采样后监测数据进行标准化处理,计算得到各指标的特征值、主成分的贡献率以及累积贡献率。确定几个主成分,得到各主成分载荷值,最后计算污染综合得分对各点水质进行评价,污染综合得分越高水质越差。

对原始数据进行主成分分析,提取出主成分因子。从表 3 可以看出,按照主成分分析的因子选取原则,共提取出 3 个因子作为主成分因子。前 3 个因子的累积方差贡献率达到 89.023%,能够充分代表整体因子的情况。结合表 4 和表 5 对 3 个主成分因子进行分析:第一主成分的方差贡献率最大,占 66.330%,通过主成分因子的载荷矩阵可以看出第一主成分在所有变量上的载荷都相差较小,它在 pH 值和溶解氧上的载荷为负,其他变量上的载荷为正,反映了各指标对水质状况的综合作用和贡献。其中载荷值相对较大的水质参数为氨氮、总氮、总磷代表的营养元素及 pH 值、溶解氧、电导率、TDS、盐度和氯化物。对于多数河流湖泊,氮和磷是影响藻类繁殖的限制性营养元素,是衡量水体受污染程度的重要指标和形成河流富营养化的关键因素。因此,虽然各指标载荷值差距较小,各指标综合影响着水质状况,但该主成分一定程度上还是可以反映出水体的富营养化程度以及河流的理化性质和离子属性特征。第二主成分的方差贡献率为 11.814%,远低于第一主成分的贡献率,它在 COD、BOD₅、Zn 和 Cd 指标上的载荷最大,可见该主成分反映了河流的有机污染情况及重金属 Zn、Cd 污染状况,其中与有机污染状况呈正相关,而与重金属 Zn、Cd 污染呈负相关。第三主成分的方差贡献率为 10.879%,在 SS、Cr 和 Cu 指标上的载荷最大,可见该主成分反映了重金属 Cr 和 Cu 污染状况和悬

浮物含量。表 5 是计算的 3 个主成分得分及水质综合排名。可知,污染最严重的是 6 号南桥中间断面,修复区域芦苇根部水质最好,1—6 大沽河植物种植河段水质状况与马蹄湖相比较差,污染修复效果不显著。但污染得分低于 8 号断面,说明具有修复效果。

表 3 特征值及主成分贡献率
Table 3 Eigenvalue and contribution rate of principal component

主成分 Principal component	特征值 Eigenvalue	方差贡献率 Variance contribution rate/%	累积方差贡献率 Cumulative variance contribution rate/%
1	10.613	66.330	66.330
2	1.890	11.814	78.144
3	1.741	10.879	89.023
4	1.018	6.361	95.384
5	0.465	2.908	98.292
6	0.162	1.010	99.302
7	0.084	0.528	99.830
8	0.027	0.170	100.00
...	...	...	...

表 4 主成分载荷值
Table 4 Loading value of principal component

原变量 Original variable	Z1	Z2	Z3	原变量 Original variable	Z1	Z2	Z3
pH 值	-0.297	0.048	0.153	总氮	0.297	-0.017	-0.087
溶解氧	-0.254	0.170	0.154	总磷	0.296	-0.084	-0.004
电导率	0.300	-0.025	-0.117	氯化物	0.277	0.165	-0.050
溶解性总固体	0.300	-0.027	-0.117	总悬浮固体	0.138	0.192	0.616
总盐度	0.301	-0.012	-0.124	Cr	0.181	-0.009	0.562
COD	0.167	0.476	-0.121	Cd	0.144	-0.353	0.124
BOD ₅	0.214	0.495	-0.105	Zn	0.197	-0.540	0.054
氨氮	0.285	-0.040	-0.113	Cu	0.241	0.077	0.384

Z1、Z2、Z3 分别表示第一、第二、第三主成分

表 5 主成分得分和污染程度综合得分
Table 5 Principal component scores and integrate score of pollution levels

采样点 Sampling Point	位置 Site	第一主成分得分 F1 Score of the first principal component	第二主成分得分 F2 Score of the second principal component	第三主成分得分 F3 Score of the third principal component	污染综合得分 F Integrate score of pollution levels	水质综合排名 Water quality score ranking
1	北桥中间	1.162	1.506	-1.376	0.799	7
2	水葱根部	1.220	-0.346	0.209	0.791	6
3	香蒲根部	1.101	-0.052	0.142	0.739	5
4	水葱根部	1.285	-0.567	-1.152	0.660	4
5	芦苇根部	1.335	-2.452	-1.248	0.460	3
6	南桥中间	3.188	0.203	2.784	2.442	9
7	外环河	-3.478	2.119	-0.581	-2.120	2
8	咸阳路污水厂排污口	1.468	0.737	0.263	1.090	8
9	马蹄湖	-7.281	-1.147	0.958	-4.861	1

2.1.3 聚类分析评价

对大沽河流域和马蹄湖共 9 个样点的 17 个水质因子进行 R 型聚类分析,这里主要运用系统聚类。17 个指标总体可分为 5 类(图 2):电导率、TDS、总盐度、氯化物、氨氮、总氮、总磷; COD、BOD₅; SS、Cr、Cu; Cd、Zn; pH、溶解氧。聚类分析和主成分分析的结果具有较高一致性。

不同水质指标的聚类分析结果如图 2。在聚类过程中电导率、TDS 和总盐度相关性最好,最先聚在一起,这几种指标代表了水中的离子属性。水溶液的电导率和 TDS、盐度是成正比的, TDS 和盐度值越高电导率越大。电导率和氯化物之间也存在着良好的相关性,有研究表明河水中这两种指标相关系数大于 0.9。因此这 4 种指标互有关联聚在一起。代表无机营养元素的总氮、总磷和氨氮和以上指标同聚一类。可见,这一大类主要反映了河水的离子属性和无机营养盐的组成。第二大类即 COD 和 BOD₅ 聚为一类,代表了水体的有机污染。第三类和第四类是金属元素聚类,SS 和 Cr 相关性最好,随后和 Cu 聚类,说明 SS 和 Cr、Cu 含量关联性好,Cr 和 Cu 可能存在于悬浮物中。Cd 和 Zn 最先聚类也代表了重金属污染状况,但和 Cr、Cu 等金属随后才相聚。pH 和溶解氧最先聚成一类,夏季藻类的大量繁殖往往会因为强光合作用而使水体中的 DO 和 pH 升高,因此两者往往呈协同的正相关关系。这一类主要与水体的理化特征有关。

2.2 对水体微生物群落的影响

稀释平板法测得不同样点水样细菌和真菌数如图 3 所示。由图看出,水样中细菌数量小于真菌,1—6 号点修复河段细菌和真菌数量较大,表明植物的存在增加了水域内河水的微生物数量,主要可能是由于根际微生物活动频繁所致。由于大量的微生物的存在,又给植物根际吸收污染物提供了一定的有利条件。植物修复增加了排污河水体的微生物数量。

2.3 对水体生物毒性的影响

生物毒性测试能够直接测定水样的毒性,评价工业废水、农药、化学毒品对水环境的污染,是研究水体污染的一种重要手段^[25]。水样的生物毒性测定结果如图 4

所示。2—9 号水样对小麦均具有一定毒性但毒性不大,毒性最大的 8 号点对小麦的根长抑制率为 20.64%; 而 1 号水样对小麦无毒性作用反而促进小麦发芽和根伸长。水样对芽长的抑制作用大于根长,通过芽长、根长抑制率可以得出各点的毒性大小。和污水排放口相比,1—6 号修复河段的小麦芽长、根长抑制率较小。结果表明,植物修复对水样植物毒性影响明显,能降低其毒性。

通过水样对发光菌的相对发光抑制率可以看出,各点水样对发光菌均具有毒性作用,发光菌对水样较敏感,水样存在潜在的急性生物毒性,但毒性差别不显著。植物修复对水样的发光菌毒性影响较小。雷炳莉^[26]应用发光细菌法对大沽排污河的水样进行过生物毒性测试,结果表明大沽排污河污水对发光菌显示出一定的毒性效应且毒性较大,这与本研究结果相吻合。

大型蚤的急性毒性试验结果为大型蚤在水样中没有死亡,说明所有水样对大型蚤不存在急性生物毒性,

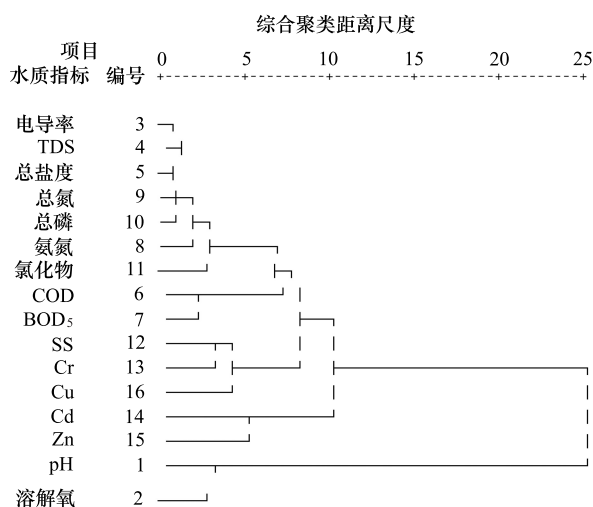


图 2 不同水质指标的聚类分析

Fig. 2 Cluster Analysis on the items of water quality

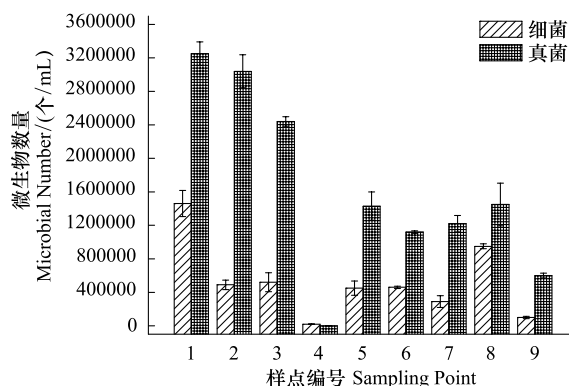


图 3 水样中微生物的数量

Fig. 3 Microbial numbers in water samples

但可能会对生理生化指标方面有影响,有待深入研究。综上,生态修复对大沽河水样发光菌和大型蚤毒性影响不显著,但能降低其植物毒性。

3 结论

生态修复示范工程一定程度上降低了河道污染,提高了水体景观质量,对水体产生了积极的影响,使大沽排污河生态修复后水质得到改善。植物修复对电导率、TDS、盐度、氯化物有一定影响,但影响不显著,距离清洁水域的值还有较大距离;对 COD 等有机污染的修复效果较好,但和南开大学马蹄湖水域相比大沽河植物种植河段 COD 和 BOD₅ 值仍较高,有机污染依然较严重;对营养元素 N、P 没有修复效果,反而使得含量增加,相对清洁水域污染严重。

大沽河主要污染是营养元素 N、P 污染和有机物污染,重金属污染不严重,关键问题还是找出更有效的解决方案,去除水中的 N、P 和有机物质。植物所在位置的微生物均比较活跃,数量多,群落多样性好,为水中尤其是底泥中各种污染物的迁移转化发挥作用,加速了底泥的形成速度。各采样点对小麦发芽和发光菌均具有一定生物毒性,而对大型蚤不存在急性毒性效应,植物修复对水样小麦发芽毒性影响较小,而经修复后的水体对发光菌的毒性降低,植物可能吸收了部分可以抑制发光菌生长的有毒物质。

尽管采取的一系列生态修复措施对水质改善起到了作用,但作用并没有得到充分发挥,修复效果尚不显著。应进一步筛选吸收氮磷等营养元素和有机物的植物和利用微生物-植物联合修复技术来去除污染物以求达到更好的修复效果。向水体中投加具有特殊分解能力的微生物菌种可将水体中有毒有害物质分解,加速毒性物质的分解转化,提高对河流的净化效率和实现对河流的生态恢复^[27]。除了在水中种植植物外,还可以在河道两边修建城市河岸带、植被缓冲带等,这也是河道生态修复中的一个重要环节^[21, 28]。

References:

- [1] Wu G H, Su R X, Li W Q, Zheng H Q. Source and enrichment of heavy metals in sewage-irrigated area soil of dagu sewage discharge channel. *Environmental Science*, 2008, 29(6): 1693-1698.
- [2] Zhu H, Liu X G, Pei E L, Guo W L, Xia S Z. Studies on effects of ecological restoration on water quality in Dalian Lake. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2010, 4(8): 1790-1794.
- [3] Zou C Y, Zhang W J, Li X H, Li D P. Remediation technology and development tendency for water quality of urban rivers. *Environmental Science and Technology*, 2007, 30(8): 99-102.
- [4] Li M, Liu D Q, Shen S D, Yuan W, Jiang H Y, Cai Y. The researching process of ecological restoration of eutrophication lake in China. *Research of Soil and Water Conservation*, 2007, 14(5): 350-355.
- [5] Lorenz A W, Jähnig S C, Hering D. Re-meandering German lowland streams: qualitative and quantitative effects of restoration measures on hydromorphology and macroinvertebrates. *Environmental Management*, 2009, 44(4): 745-754.
- [6] Maltais-Landry G, Maranger R, Brisson J, Chazarenc F. Nitrogen transformations and retention in planted and artificially aerated constructed wetlands. *Water Research*, 2009, 43(2): 535-545.
- [7] Wu Y H, Kerr P G, Hu Z Y, Yang L Z. Eco-restoration: Simultaneous nutrient removal from soil and water in a complex residential-cropland area. *Environmental Pollution*, 2010, 158(7): 2472-2477.
- [8] Bennicelli R, Stepniewska Z, Banach A, Szajnoch K, Ostrowski J. The ability of *Azolla caroliniana* to remove heavy metals (Hg(II), Cr(III), Cr(VI)) from municipal waste water. *Chemosphere*, 2004, 55(1): 141-146.
- [9] Dwivedi S, Srivastava S, Mishra S, Dixit B, Kumar A, Tripathi R D. Screening of native plants and algae growing on fly-ash affected areas near National Thermal Power Corporation, Tanda, Uttar Pradesh, India for accumulation of toxic heavy metals. *Journal of Hazardous Materials*, 2008, 158(2/3): 359-365.
- [10] Wei S H, Zhou Q X, Wang X, Zhang K S, Guo G L. A newly-discovered Cd-hyperaccumulator *Solanum nigrum* L. *Chinese Science Bulletin*, 2004, 49(24): 2568-2573.

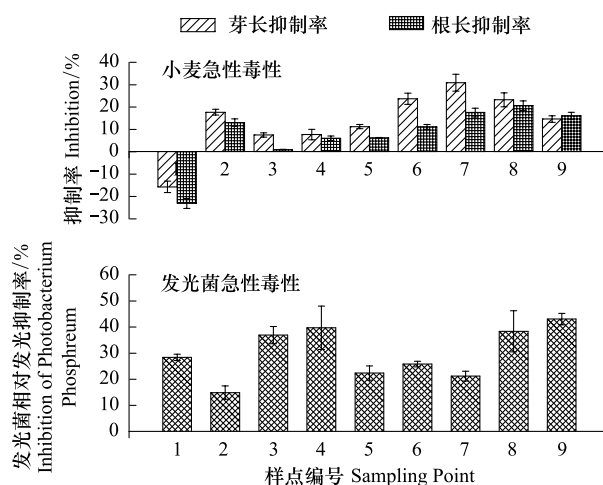


图4 水样的生物毒性

Fig. 4 Biological toxicity of water samples

- [11] Sun Y B, Zhou Q X, Diao C Y. Effects of cadmium and arsenic on growth and metal accumulation of Cd-hyperaccumulator *Solanum nigrum* L. *Bioresource Technology*, 2008, 99(5): 1103-1110.
- [12] State Environmental Protection Administration Water and the Waste Water Monitor Analysis Method Editorial Committee. *Water and Waste Water Monitor Analysis Method*. 4th ed. Beijing: China Environmental Science Press, 2002.
- [13] Fang H W, Sun S Q, Zhu Y L, Xiao Z X, Shi F J. Principal component analysis apply in water quality assessment. *Environmental Science and Management*, 2009, 34(12): 152-154.
- [14] Wan J B, Zeng H Y, Zhu B H. Application of principal component analysis in evaluation of water quality of Lean River. *China Water and Wastewater*, 2009, 25(16): 104-108.
- [15] Wang Y H, Wang G L. Water quality evaluation of Taihu Lake based on principal component analysis and geostatistical analyst. *Environmental Science and Technology*, 2010, 33(12F): 547-550.
- [16] Ouying Y. Evaluation of river water quality monitoring stations by principal component analysis. *Water Research*, 2005, 39(12): 2621-2635.
- [17] Yu C H. *SPSS and Statistical Analysis*. Beijing: Electronic Industry Press, 2007: 2-2.
- [18] Zhang Q M. *Environment Biology Experimental Technology*. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.
- [19] Ribo J M, Kaiser K L E. *Photobacterium phosphoreum* toxicity bioassay. I. test procedures and applications. *Toxicity Assessment*, 1987, 2(3): 305-323.
- [20] State Environmental Protection Administration of China. *Environmental Quality Standard of Surface Water of China*. GB3838-2002.
- [21] Li W, Zhang N, Wu F F. Influence of ecological restoration of riparian zone on water quality of Zhuanhe River in Beijing. *Chinese Journal of Environmental Science*, 2011, 32(1): 80-87.
- [22] Zhou Q X. *Ecology of Combined Pollution*. Beijing: China Environmental Science Press, 1995.
- [23] Zhou Q X, Gibson C E, Zhu Y M. Evaluation of phosphorus bioavailability in sediments of three contrasting lakes in China and the UK. *Chemosphere*, 2001, 42(2): 221-225.
- [24] Zhou Q X, Zhu Y M. Potential pollution and recommended critical levels of phosphorus in paddy soils of the southern Lake Tai area, China. *Geoderma*, 2003, 115(1/2): 45-54.
- [25] Fan W H, Tang G, Duan Y, Zhang R. Study of river water quality and bio-toxicity in Beijing by principal component analysis method. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 2007, 2(1): 69-76.
- [26] Lei B L. Biototoxicity of water samples from Dagu Drain River and Yongdong New River. *Journal of Shanghai University: Natural Science Edition*, 2010, 16(6): 567-571.
- [27] Yao X L, Liang Y X. Improving water quality of rivers by microbial technology. *Environmental Science and Technology*, 2007, 30(6): 59-61.
- [28] Zhao H M, You W H, Luo Y, Wang J F, Huang S F, Wu J, Wu J Q. Building riparian buffer for ecological restoration of river banks. *Environmental Science and Technology*, 2008, 31(4): 116-122.

参考文献:

- [1] 吴光红, 苏睿先, 李万庆, 郑洪起. 大沽排污河污灌区土壤重金属富集特征和来源分析. *环境科学*, 2008, 29(6): 1693-1698.
- [2] 朱浩, 刘兴国, 裴恩乐, 郭文利, 夏述忠. 大莲湖生态修复工程对水质影响的研究. *环境工程学报*, 2010, 4(8): 1790-1794.
- [3] 邹丛阳, 张维佳, 李欣华, 李大鹏. 城市河道水质恢复技术及发展趋势. *环境科学与技术*, 2007, 30(8): 99-102.
- [4] 黎明, 刘德启, 沈颂东, 袁雯, 姜海燕, 蔡晔. 国内富营养化湖泊生态修复技术研究进展. *水土保持研究*, 2007, 14(5): 350-355.
- [10] 魏树和, 周启星, 王新, 张凯松, 郭观林. 一种新发现的镉超积累植物龙葵(*Solanum nigrum* L.). *科学通报*, 2004, 49(24): 2568-2573.
- [12] 国家环境保护总局水和废水监测分析方法编委会编. *水和废水监测分析方法*. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [13] 方红卫, 孙世群, 朱雨龙, 肖中新, 施帆君. 主成分分析法在水质评价中的应用及分析. *环境科学与管理*, 2009, 34(12): 152-154.
- [14] 万金保, 曾海燕, 朱邦辉. 主成分分析法在乐安河水质评价中的应用. *中国给水排水*, 2009, 25(16): 104-108.
- [15] 王艳红, 王桂玲. 基于主成分和地统计的太湖水质分析. *环境科学与技术*, 2010, 33(12F): 547-550.
- [17] 宇传华. *SPSS 与统计分析*. 北京: 电子工业出版社, 2007: 2-2.
- [18] 张清敏. *环境生物学实验技术*. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [20] 国家环境保护总局. 中华人民共和国地表水环境质量标准. GB3838-2002.
- [21] 李婉, 张娜, 吴芳芳. 北京转河河岸带生态修复对河流水质的影响. *环境科学*, 2011, 32(1): 80-87.
- [22] 周启星. *复合污染生态学*. 北京: 中国环境科学出版社, 1995.
- [25] 范文宏, 唐戈, 段勇, 张融. 运用主成分分析法评价北京市代表性河流的水质与毒性状况. *生态毒理学报*, 2007, 2(1): 69-76.
- [26] 雷炳莉. 大沽排污河和永定新河水样的生物毒性. *上海大学学报: 自然科学版*, 2010, 16(6): 567-571.
- [27] 姚晓丽, 梁运祥. 微生物技术改善河道水质的研究. *环境科学与技术*, 2007, 30(6): 59-61.
- [28] 赵杭美, 由文辉, 罗扬, 王金凤, 黄沈发, 吴健, 吴建强. 滨岸缓冲带在河道生态修复中的应用研究. *环境科学与技术*, 2008, 31(4): 116-122.

CONTENTS

Growth and physiological adaptation of <i>Messerschmidia sibirica</i> to sand burial on coastal sandy	WANG Jin, ZHOU Ruilian, ZHAO Halin, et al (4291)
Alleviation effect and mechanism of exogenous potassium nitrate and salicylic acid on the growth inhibition of <i>Pinus tabulaeformis</i> seedlings induced by deicing salts	ZHANG Ying, LI Fayun, YAN Xia, et al (4300)
Influence of different spatial-scale factors on stream macroinvertebrate assemblages in the middle section of Qiantang River Basin	ZHANG Yong, LIU Shuoru, YU Haiyan, et al (4309)
Species diversity and distribution pattern of non-volant small mammals along the elevational gradient on eastern slope of Gongga Mountain	WU Yongjie, YANG Qisen, XIA Lin, et al (4318)
A patch-based method for mechanism analysis on spatial dynamics of mangrove distribution	LI Chungan, LIU Suqing, FAN Huangqing, et al (4329)
Nutrient heterogeneity in fine roots of six subtropical natural tree species	XIONG Decheng, HUANG Jinxue, YANG Zhijie, et al (4343)
Variation of vegetation NDVI and its response to climate change in Zhejiang Province	HE Yue, FAN Gaofeng, ZHANG Xiaowei, et al (4352)
Heterogeneity in fine root respiration of six subtropical tree species	ZHENG Jinxing, XIONG Decheng, HUANG Jinxue, et al (4363)
Characteristics of ammonia-oxidizing bacteria and ammonia-oxidizing archaea abundance in soil organic layer under the subalpine/alpine forest	WANG Ao, WU Fuzhong, HE Zhenhua, et al (4371)
Effect of tillage systems on light fraction carbon in a purple paddy soil	ZHANG Junke, JIANG Changsheng, HAO Qingju, et al (4379)
Effects of prescribed fire on carbon sequestration of long-term grazing-excluded grasslands in Inner Mongolia	HE Nianpeng, HAN Xingguo, YU Guirui, et al (4388)
Stoichiometry of carbon dioxide and methane emissions in Minjiang River estuarine tidal wetland	WANG Weiqi, ZENG Congsheng, TONG Chuan, et al (4396)
Distribution and sources of particulate organic carbon in the Pearl River Estuary in summer 2010	LIU Qingxia, HUANG Xiaoping, ZHANG Xia, et al (4403)
The glucose-utilizing bacterial diversity in the cold spring sediment of Shawan, Xinjiang, based on stable isotope probing	CHU Min, WANG Yun, ZENG Jun, et al (4413)
Culture-dependent and culture-independent approaches to studying soil microbial diversity	LIU Guohua, YE Zhengfang, WU Weizhong (4421)
The classification of plant functional types based on the dominant herbaceous species in the riparian zone ecosystems in the Yiluo River	GUO Yili, LU Xunling, DING Shengyan (4434)
Genetic diversity of different eco-geographical populations in endangered plant <i>Prunus mongolica</i> by ISSR Markers	ZHANG Jie, WANG Jia, LI Haoyu, ZHANG Huirong, et al (4443)
Ecophysiological characteristics of higher-latitude transplanted mangrove <i>Kandelia candel</i> in strong tidal range area	ZHENG Chunfang, QIU Jianbiao, LIU Weicheng, et al (4453)
The effect of artificial warming during winter on white clover (<i>Trifolium repens</i> Linn): overwintering and adaptation to coldness in late spring	ZHOU Ruilian, ZHAO Mei, WANG Jin, et al (4462)
Estimating fine root production and mortality in subtropical <i>Altingia grilipes</i> and <i>Castanopsis carlesii</i> forests	HUANG Jinxue, LING Hua, YANG Zhijie, et al (4472)
The cloning and expression of WUE-related gene (<i>PdEPF1</i>) in <i>Populus deltoides</i> × <i>Populus nigra</i>	GUO Peng, JIN Hua, YIN Weilun, et al (4481)
The allelopathy of aquatic rhizome and root extract of <i>Thalia dealbata</i> to seedling of several aquatic plants	MIAO Lihua, WANG Yuan, GAO Yan, et al (4488)
Effect of the avirulent strain of <i>Ralstonia solanacearum</i> on the ecological characteristics of microorganism fatty acids in the rhizosphere of tobacco	ZHENG Xuefang, LIU Bo, LAN Jianglin, et al (4496)
Coupling remotely sensed information with a rice growth model by combining updating and assimilation strategies	WANG Hang, ZHU Yan, MA Mengli, et al (4505)
Effects of water temperature and body weight on metabolic rates of Yellowtail clownfish <i>Amphiprion clarkii</i> (Pisces: Perciformes) during larval development	YE Le, YANG Shengyun, LIU Min, et al (4516)
The distribution of chlorophyll a in the Southwestern Indian Ocean in summer	HONG Lisha, WANG Chunsheng, ZHOU Yadong, et al (4525)
Evaluation of the effects of ecological remediation on the water quality and biological toxicity of Dagou Drainage River in Tianjin	WANG Min, TANG Jingchun, ZHU Wenyong, et al (4535)
Quantitative dynamics of adult population and 3-D spatial pattern of <i>Ceoporus variabilis</i> (Baly)	WANG Wenjun, LIN Xuefei, ZOU Yunding, et al (4544)
Review and Monograph	
Studies on urban heat island from a landscape pattern view: a review	CHEN Ailian, SUN Ranhao, CHEN Liding (4553)
Sediment quality triad and its application in coastal ecosystems in recent years	WU Bin, SONG Jinming, LI Xuegang, et al (4566)
Discussion	
Food waste management in China: status, problems and solutions	HU Xinjun, ZHANG Min, YU Junfeng, et al (4575)
Scientific Note	
Effects of microchemical substances in anaerobic fermented liquid from rice straw and cyanobacteria on <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>niveum</i> growth	LIU Aimin, XU Shuangsoo, CAI Xin, et al (4585)
Ecological benefit-loss analysis of agricultural ecosystem in Foshan City, China	YE Yanqiong, ZHANG Jiaen, QIN Zhong, et al (4593)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 14 期 (2012 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 14 (July, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元