

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

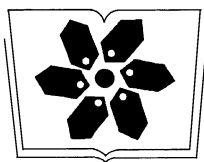
Acta Ecologica Sinica



第34卷 第9期 Vol.34 No.9 **2014**

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 34 卷 第 9 期 2014 年 5 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 基于土壤食物网的生态系统复杂性-稳定性关系研究进展 陈云峰,唐 政,李 慧,等 (2173)
- 滇西北高原入湖河口退化湿地生态修复效益分析..... 符文超,田 昆,肖德荣,等 (2187)
- 典型峰丛洼地耕地、聚落及其与喀斯特石漠化的相互关系——案例研究
..... 李阳兵,罗光杰,白晓永,等 (2195)
- 青藏高原东缘高寒草原有毒植物分布与高原鼠兔、高原麝鼠的相关性 ... 金 樑,孙 莉,崔慧君,等 (2208)
- 周边不同生境条件对茶园蜘蛛群落及叶蝉种群时空结构的影响..... 黎健龙,唐劲驰,黎秀娣,等 (2216)

个体与基础生态

- 三峡库区马尾松林土壤-凋落物层酶活性对凋落物分解的影响 葛晓改,肖文发,曾立雄,等 (2228)
- 芦苇、香蒲和蘆草 3 种挺水植物的养分吸收动力学 张熙灵,王立新,刘华民,等 (2238)
- 沙化程度和林龄对湿地松叶片及林下土壤 C、N、P 化学计量特征影响 ... 胡启武,聂兰琴,郑艳明,等 (2246)
- 内蒙古典型草原小叶锦鸡儿灌丛化对水分再分配和利用的影响 彭海英,李小雁,童绍玉 (2256)
- 遮阴对米槠和杉木原位排放甲烷的影响..... 陈细香,杨燕华,江 军,等 (2266)
- 桔小实蝇和番石榴实蝇对 6 种寄主果实的产卵选择适应性..... 刘 慧,侯柏华,张 灿,等 (2274)
- 鼠尾草属东亚分支的传粉模式..... 黄艳波,魏宇昆,葛斌杰,等 (2282)

种群、群落和生态系统

- 养分资源脉冲供给对几种微藻种间竞争的影响 李 伟 (2290)
- 不同植被恢复类型的土壤肥力质量评价..... 李静鹏,徐明锋,苏志尧,等 (2297)
- 黄土丘陵区植物功能性状的尺度变化与依赖 丁 曼,温仲明,郑 颖 (2308)
- 湘潭锰矿栎树叶片和土壤 N、P 化学计量特征 徐露燕,田大伦,王光军,等 (2316)
- 黄土高原春小麦农田蒸散及其影响因素..... 阳伏林,张 强,王文玉,等 (2323)
- 尾矿区不同植被恢复模式下高效固氮菌的筛选及 Biolog 鉴定..... 李 雯,阎爱华,黄秋娟,等 (2329)
- 四川理县杂谷脑干旱河谷岷江柏造林恢复效果评价..... 李东胜,罗 达,史作民,等 (2338)

景观、区域和全球生态

- 闽南-台湾浅滩渔场二长棘鲷群体景观多样性 蔡建堤,苏国强,马 超,等 (2347)
- 面向土系调查制图的小尺度区域景观分类——以宁镇丘陵区中一小区域为例.....
..... 卢浩东,潘剑君,付传城,等 (2356)

气候变化对华北冬小麦生育期和灌溉需水量的影响..... 胡 玮,严昌荣,李迎春,等 (2367)

资源与产业生态

基于 LMDI 分解的厦门市碳排放强度影响因素分析 刘 源,李向阳,林剑艺,等 (2378)

可持续生计目标下的生态旅游发展模式——以河北白洋淀湿地自然保护区王家寨社区为例.....

..... 王 瑾,张玉钧,石 玲 (2388)

荔枝树干液流速率与气象因子的关系 凡 超,邱燕萍,李志强,等 (2401)

肿腿蜂类寄生蜂室内控害效能评价——以松脊吉丁肿腿蜂为例 展茂魁,杨忠岐,王小艺,等 (2411)

城乡与社会生态

内蒙古草原人类福祉与生态系统服务及其动态变化——以锡林郭勒草原为例.....

..... 代光烁,娜日苏,董孝斌,等 (2422)

基于农业面源污染分区的三峡库区生态农业园建设研究 刘 涓,谢 谦,倪九派,等 (2431)

“交通廊道蔓延”视角下山地城市典型样带空间格局梯度分析 吕志强,代富强,周启刚 (2442)

学术信息与动态

美国地理学家协会 2014 年会述评 孙然好,肖荣波 (2450)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 280 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 30 * 2014-05



封面图说: 峰丛洼地石漠化——峰丛主要分布在云贵高原的边缘部分及桂西、桂西北地区,相对高度一般为 200—300m,高的可达 600m 以上。在峰丛之间,岩溶洼地、漏斗、落水洞很发育,常形成峰丛洼地或峰丛漏斗的组合形态。峰丛洼地中的土地相当贫瘠,由于当地人们依靠这些土地种植庄稼为生,石漠化的发展趋势已经越来越明显。尤其在土地承载力低、人口压力大的区域石漠化相当严重,研究峰丛洼地耕地资源分布、土地利用强度和石漠化发育状况之间的机理,有助于从本质上认识石漠化的发生,对石漠化治理实施科学指导。

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

DOI: 10.5846/stxb201310312637

符文超, 田昆, 肖德荣, 李伟, 岳海涛, 赵湘江, 杨浩. 滇西北高原入湖河口退化湿地生态修复效益分析. 生态学报, 2014, 34(9): 2187-2194.

Fu W C, Tian K, Xiao D R, Li W, Yue H T, Zhao X J, Yang H. The ecological restoration effort of degraded estuarine wetland in Northwest Yunnan Plateau, China. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(9): 2187-2194.

滇西北高原入湖河口退化湿地生态修复效益分析

符文超¹, 田 昆^{2,3,*}, 肖德荣², 李 伟⁴, 岳海涛², 赵湘江¹, 杨 浩¹

(1. 西南林业大学环境科学与工程学院, 昆明 650224; 2. 国家高原湿地研究中心, 昆明 650224;

3. 重庆大学, 重庆 400044; 4. 云南省生物多样性研究院, 昆明 650224)

摘要:选取滇西北高原典型退化湿地剑湖, 对入湖河流永丰河入湖河口退化湿地进行的生态修复措施及其效益进行研究, 评估其恢复效果, 为高原退化湿地的修复和污染湖泊的治理提供依据。研究地修复 2a 后, 入湖河口湿地景观格局得到较大改善, 空间结构得到优化配置; 水质状况明显改善, 水体透明度提高 101%, 水体中总氮(TN)、氨氮(NH₄⁺-N)、硝氮(NO₃⁻-N)、总磷(TP)、化学需氧量(COD)的含量较恢复前明显下降, 去除率分别达到 62.5%、89.3%、62.5%、91.7%、68.0%, 这一水质降解结果表明: 基底修复促进了入湖河口水文状况的改善, 而依据植物对不同浓度污水的适应状况进行多生活型、多种类的植物配置, 并适当增加沉水植物比例, 有效发挥了植物的净化作用, 但不同湿地植物群落之间净化效果存在差异, 显示了植物对氮磷的喜好程度和植物间的互作关系, 而相同植物群落在不同浓度污水条件下的表现同样存在差异。因此, 污染水体的治理必须选择性利用适合不同污水浓度的水生植物进行合理的群落配置, 同时, 根据水质变化及时对植物进行适应性调整, 有利于植物的生长和湿地生态系统的稳定, 以及湿地生态系统结构和功能的恢复。该退化湿地修复后, 每年可产生以净化功能效益为主的生态系统服务功能价值 185 万元, 以水源涵养和生物多样性保育、生态旅游等的生态系统服务功能价值 32.7 万元, 以及以生态农业系统为主的的市场价值 270 万元, 呈现了较好的经济、社会效益和生态效益价值。

关键词:入湖口; 剑湖; 高原湿地; 生态修复; 效益评估

The ecological restoration effort of degraded estuarine wetland in Northwest Yunnan Plateau, China

FU Wenchao¹, TIAN Kun^{2,3,*}, XIAO Derong², LI Wei⁴, YUE Haitao², ZHAO Xiangjiang¹, YANG Hao¹

1 College of Environmental Science and Engineering, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China

2 National Plateau Wetlands Research Center, Kunming 650224, China

3 Chongqing University, Chongqing 400044, China

4 Yunnan Academy of Biodiversity, Kunming 650224, China

Abstract: In the present study, Jianhu, a typical degraded plateau wetland in Northwestern Yunnan, is selected as the study site and for the efficiency assessment of an ecological restoration project. The aim of the this study is to provide a scientific basis for restoring degraded wetlands and treating water pollution problems in Yunnan Plateau area, and to maintain ecological stability of associated lake ecosystems. The result showed that after two years' ecological restoration effort, estuarine landscape structure has been greatly improved with diversified landscape and optimized spatial structure. Also, water quality has been improved, with the transparency of the water body increased by 101%, and the concentrations of TN, NH₄⁺-N, NO₃⁻-N, TP and COD significantly decreased by 62.5%, 89.3%, 62.5%, 91.7% and 68.0%, respectively.

基金项目:云南省科技计划项目(2008CA006); 973 计划前期研究专项项目(2012CB426509); 国家自然科学基金项目(40971285, 31370497); 云南省科技创新人才计划项目(2012HC007); 云南省生态学优势特色重点学科(群)建设项目共同资助

收稿日期: 2013-10-31; 修订日期: 2014-02-13

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: tlkunj@126.com

The purification process of water suggests that the sediment treatment has improved the hydrological conditions in the estuarine environment, and the selection of plant species should be based on nutrient content of the sewage. Also, a high proportion of submerge plants could be used to enhance purification effect. However, the purification effect varied for wetlands with different plant communities, which suggest that aquatic plants have different preference to nitrogen and phosphorus, and they have established complex interactions. Also, once exposed to different nutrient content, the same plant species could display varying levels of water purification function. Therefore, to better deal with sewage problem, it is essential to select the right plant species for community assembly purpose according to water pollution levels. Meanwhile, it is necessary to adjust the composition of plant community according to the change of water quality so that plants could grow well, the stability of the wetland ecosystem could be maintained, and the recovery of ecosystem functions and services could be sustained. After the degraded wetland is restored, it would offer multiple ecosystem services each year, with the yield value of the water purifying effect estimated as RMB 1850000 yuan, the yield value of biodiversity conservation, ecological tourism and other ecosystem services estimated as RMB 327000 yuan, and the market value of the ecological agriculture system estimated as RMB 2700000 yuan. Therefore, the comprehensive benefits of economy, society and ecology could be accomplished, and the goal of demonstrating restoration feasibility of a degraded plateau wetland is fulfilled.

Key Words: estuary; Jianhu; plateau wetland; ecological restoration; efficiency assessment

入湖河口湿地处于入湖河流与湖泊之间的过渡区域,是河流与湖泊能量流动与物质循环过程强烈的区域,是湖泊生物多样性富集的地方,由于受化学、物理和生物等多种因素的强烈影响,成为一个生态多样性较高的生态边缘区^[1]。河流是流域地表径流输沙和营养输入的渠道,入湖河流带来的营养物质,为各种生物提供了丰富的食源,孕育了丰富的生物多样性,同时,也是湖泊污染、淤积的重要输入来源,尤其是闭合半闭合湿地,其受到的影响更为显著。因此,保护或恢复河流入湖河口这一河流与湖泊交错区的生态环境质量,分析保护与恢复措施的有效性,据此指导恢复实践,不仅为高原闭合半闭合湖泊湿地生态恢复提供科学依据,而且对维护湖泊生态系统的稳定有着重要意义。目前,国内外对海陆相交区域的河口湿地研究较多^[2],但多数研究主要针对滨海湿地退化过程、机理及其恢复措施的应用,缺乏对恢复效果的分析评价研究,更缺乏对闭合半闭合高原湖泊入湖河口湿地恢复的研究及其恢复成效的评价研究。本文针对高原湿地剑湖永丰河入湖河口开展的基底修复、植被恢复与景观构建等综合措施的恢复效益进行分析研究,评估恢复措施的有效性,以能为高原湿地的修复提供依据。

1 研究区概况

研究区位于滇西北剑川县永丰河入湖河口,面

积 6 hm²,地理坐标 99°54′40.45″—99°54′48.46″E, 26°29′41.28″—26°29′49.16″N。永丰河是滇西北典型湿地剑湖的主要汇水河流,平均输水量约为 5.0×10⁷m³/a,流经剑川县城区硬化河道最后汇入剑湖。剑湖湿地属云南省高原湖泊重要湿地类型,同其它高原湖泊湿地一样处于相对封闭的地理环境^[3],由于地处横断山脉和滇西北生物多样性保护的关键区域,剑湖湿地物种丰富度较高、生活型较齐全,分布有水生维管束植物 26 科 45 属 59 种;鸟类 32 科 62 属 94 种;鱼类 3 目 4 科 14 属 15 种;两栖动物 1 目 7 科 4 亚科 13 属 13 种;昆虫 10 目 49 科 117 种。独特的地理区位,孕育了包括云贵高原湖泊特有种海菜花(*Ottelia acumianta*),云南特有鱼类光唇裂腹鱼(*Schizothorax lissola-biatus*)、云南裂腹鱼(*S. yunnanensis*)、后背鲈鲤(*Percocypris pingi-retrodorslis*)和剑湖高原鳅(*Triplophysa jianhuensis*)等众多特有种,成为国内外广泛关注的生物多样性热点区域。

作为河流与湖泊之间的过渡区域,永丰河入湖河口沼泽湿地发育,孕育了丰富的湿地植物多样性,湿地植物主要有茭草(*Zizania latifolia*)、水葱(*Scirpus tabernaemontani*)、荇菜(*Nymphaea peltatum*)、篦齿眼子菜(*Potamogeton pectinatus*)等,为众多湿地动物提供了食物来源和栖息生境,成为维护剑湖水质的天然屏障。然而,随着河口湿地大量垦殖,植被破坏,湿地景观破碎化加剧,削弱了入湖河口湿地水质净

化功能,加之由于永丰河穿城而过,成为剑川县城市生活污水的主要承接河流,大量城镇生产、生活污水经永丰河道排入剑湖,入湖水质污染逐渐加剧,由进入城区前河道水体的Ⅱ—Ⅲ类水下降为Ⅳ—劣Ⅴ类水,植物群落结构组成随之改变,挺水植物面积扩大,耐污种茭草不断增多成为单优群落,原始湖滨环境消失,湖口淤积加快,明水面减少,斑块状陆地化进程加快,湿地环境不断萎缩,严重威胁着剑湖水生态安全和湿地生物多样性。

2 研究方法

采取对比研究的方法,比较入湖河口退化湿地经基底修复、植被恢复后的水质变化以及恢复前后湿地景观特征的变化,并利用市场价值法、替代市场价值法等方法对入湖河口湿地恢复效益进行分析评估。

2.1 恢复措施

2.1.1 基底修复

根据研究地现有地形,基于工程量最小化原则,结合湿地结构、功能和景观构建的需要对其进行基底改造和修复,以减轻内源污染^[4],维护基底的稳定性,恢复入湖口水域面积,构建依据进水量和污染负荷的不同水深、不同水动力、水停留时间的地形基底,从入水口至出水口设置不同水文梯度的淹水区域,其中,深水区设计水深 2.0—2.5m,沉水植物恢复区设计水深在 1.5—2.0m,挺水植物恢复区设计水深 0.5—1.5m,浮叶植物恢复区设计水深在 0.5—0.9m,滨水区设计水深 0.2—0.5m;结合设计水深进行基底填挖,去除基底中富含污染物的底泥和淤泥约 60000m³;恢复水面积 6hm²。

2.1.2 植被恢复与景观构建

依据植物的生物学特性,选择剑湖湿地本地物种,通过湿地植物空间配置、种群动态调控、种群行为控制,构建适应水文周期历时、水深,以及削减入湖污染负荷、发挥最大净化效益的植物群落^[5],同时,注重观赏价值和经济价值的选择,尤其重要的是构建自我演替、自我维持的稳定生态系统,使其与环境背景保持完整的统一性^[6]。

(1) 植物选择依据

植物选择注重净化与美化价值的双重功能,在水质净化方面,依据黄余春等^[7]、张昆等^[8]对该区植物净化能力的研究结果,以及现有植物分布的调查

结果,选择针对永丰河污水成分和浓度的适宜植物。在观赏价值方面,依据株型、叶形、色彩等观赏价值,并考虑不同生活型、不同株型、叶形、色彩的搭配,选择构建景观价值和群落净化效果均佳的植物。

(2) 基于生态功能与景观构建的空间配置

基于基底修复后的地形和水文条件,以及植物美学和生态学价值,在研究地水口、相邻农作物种植区域、中心明水面区域以及研究地出水口区域,结合区域水质状况及景观需求选择适宜的植物,在净化水质的同时,构建叶形、色彩、高矮相互衬托、远近相结合的优美湿地植物群落景观。

入湖河口湿地从入水口至出水口共配置 6 组植物群落, A: 茭草+金鱼藻 (*Ceratophyllum demersum*) 群落, B: 野菱 (*Trapa incisa*) + 菖蒲 (*Acorus calamus*) + 慈姑 (*Sagittaria sagittifolia*) 群落, C: 茭草+金鱼藻+水葱群落, D: 菖蒲+穗状狐尾藻 (*Myriophyllum spicatum*) + 慈姑群落, E: 茭草+篦齿眼子菜+荇菜+芦苇 (*Phragmites australis*) 群落, F: 灯心草 (*Juncus effusus*) + 泽藁草 (*Caldesia parnassifolia*) + 菖蒲+海菜花 (*Ottelia acuminata*) 群落 (图 1)。

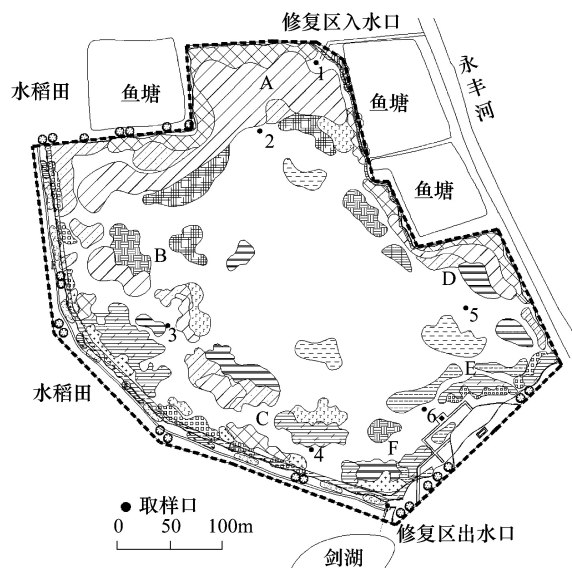


图 1 研究地样点分布图

Fig.1 Sample distribution of the study area

2.2 水样采集

2012—2013 年连续 2a, 每年 6 月、10 月各进行 1 次采样。采样以恢复植物带为轴线, 依据水生植物群落配置, 按照修复后研究地水体流入 A 群落, 经 A 群落后分别流入 B、D 群落, 经 B 群落的水体流入 C

群落,经 D 群落的水体流入 E 群落,最后经 C、E 群落的水体共同流入 F 群落,经 F 群落后,由出水口汇入剑湖的水体流向,在研究地入水口、A、B、C、D、E、F 6 组植物群落背水面采集水样,其样点线标为 1 (进水口)、2、3、4、5、6、7 (出水口) (图 1),取水采用表层取水方式,每个采样点采集水样 3 个,共 21 个水样,用塑料瓶采集并进行标记。

2.3 分析方法

采用《中国环境保护标准汇编:水质分析方

法》^[9]分析 TN、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、TP、COD 等水质指标,每个水样重复测定 3 次。运用 SPSS 16.0 和 Excel 软件对数据统计分析,采用单因素方差分析,对不同取样点相关水质指标进行差异性检验。

3 结果与分析

入湖河口湿地修复试验区进水为永丰河河道内的生活污水,连续 2a 的水质采样分析数据表明的水质状况见表 1。

表 1 永丰河入湖河口河道水质状况

Table 1 Water quality of Yongfeng River in the water inlet of restoration site

指标 Index	SD/cm	TN/ (mg/L)	$\text{NH}_4^+\text{-N}/$ (mg/L)	$\text{NO}_3^-\text{-N}/$ (mg/L)	TP/ (mg/L)	COD/ (mg/L)
含量 Content	57.3	2.85 ± 0.01	1.77 ± 0.07	0.24 ± 0.02	0.24 ± 0.01	83.33 ± 3.79

3.1 水环境变化

3.1.1 水体透明度

水体透明度是反映水质状况的一项重要指标。研究地入水口水体平均透明度为 57.3cm,修复后,随着湿地植物群落的逐渐建立,水体物理性质得到明显改善,悬浮颗粒逐渐减少,水体透明度不断提高,各样点水体平均透明度依次为 95.5、98.8、103.5、103.7、110.6 cm (图 2),至出水口水体平均透明度达到 115.1cm,较恢复前提高了 101%。表明入湖河口湿地修复措施对入湖水质具有明显的净化效果,入湖泥沙大幅度减少。

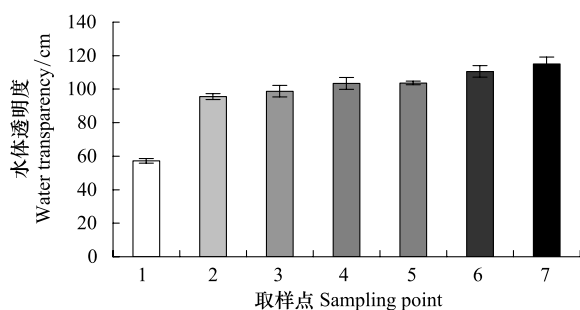


图 2 各样点水体透明度变化

Fig.2 Variation of water transparency

3.1.2 水体 TN 变化

研究地入水口水体中 TN 含量平均值为 $(2.85\pm 0.01)\text{mg/L}$,研究区为河流河口,根据国家地表水环境质量标准 (GB3838—2002),该入水口水质为劣 V 类 ($\text{TN}>2.0\text{mg/L}$),入湖河口湿地恢复后,出水口水体中 TN 的平均含量减少至 $(1.07\pm 0.04)\text{mg/L}$,去除

率为 62.5%,净化效果较为明显。实验结果表明:不同群落对 TN 的降解存在差异 ($P<0.05$),群落 A 对 TN 的降解率为 51.2%,显著高于 B 群落的 6.5%、C 群落的 10.0%、D 群落的 17.3%、E 群落的 2.6%、F 群落的 7.0% (图 3)。

3.1.3 水体 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 变化

研究地入水口水体中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量平均值为 $(1.77\pm 0.07)\text{mg/L}$,为 IV—V 类水 ($\text{NH}_4^+\text{-N}\leq 2.0\text{mg/L}$)入湖河口湿地恢复后,出水口水体中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的平均含量减少至 $(0.19\pm 0.10)\text{mg/L}$,去除率为 89.3%。不同群落对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的降解与 TN 相似,净化效果存在差异 ($P<0.05$),群落 A 对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的降解率为 81.4%,显著高于 B 群落的 12.1%、C 群落的 20.7%、D 群落的 24.2%、E 群落的 20.0%、F 群落的 13.6% (图 3)。

3.1.4 水体 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 变化

研究地入水口水体中 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量平均值为 $(0.24\pm 0.02)\text{mg/L}$,入湖河口湿地恢复后,出水口水体中 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的平均含量减少至 $(0.09\pm 0.05)\text{mg/L}$,去除率为 62.5%。不同群落对 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的降解结果呈现与 TN 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 相似的现象,群落 A 对 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的降解率为 45.8%,显著高于 B 群落的 7.7%、C 群落的 16.7%、D 群落的 23.1%、E 群落的 10.0%、F 群落的 5.3%,差异明显 ($P<0.05$) (图 3)。

3.1.5 水体 TP 变化

研究地入水口水体中 TP 含量平均值为 $(0.24\pm$

0.01) mg/L,入湖河口湿地恢复后,出水口水体中 TP 的平均含量减少至 (0.02 ± 0.01) mg/L,去除率为 91.7%。与 N 的降解现象相一致,呈现出不同群落对 TP 降解的差异 ($P < 0.05$),群落 A 对 TP 的降解率为 79.2%,显著高于 B 群落的 10.0%,C 群落的 11.1%、D 群落的 6.0%、E 群落的 36.2%、F 群落的 42.9% (图 3)。

3.1.6 水体 COD 变化

研究地入水口水体中 COD 含量平均值 $(83.33 \pm$

3.79) mg/L,水质为劣 V 类 ($\text{COD} > 40$ mg/L),入湖河口湿地恢复后,出水口水体中 COD 的平均含量减少至 (26.67 ± 1.53) mg/L,去除率达 68.0%。同样,不同群落对 COD 的降解存在差异 ($P < 0.05$),但 A 群落的降解率仅为 10.0%,而群落 E、F 对 COD 的降低率分别为 49.3%、45.6%,且显著高于 B 群落的 26.6%、C 群落的 14.9%、D 群落的 6.7% (图 3)。

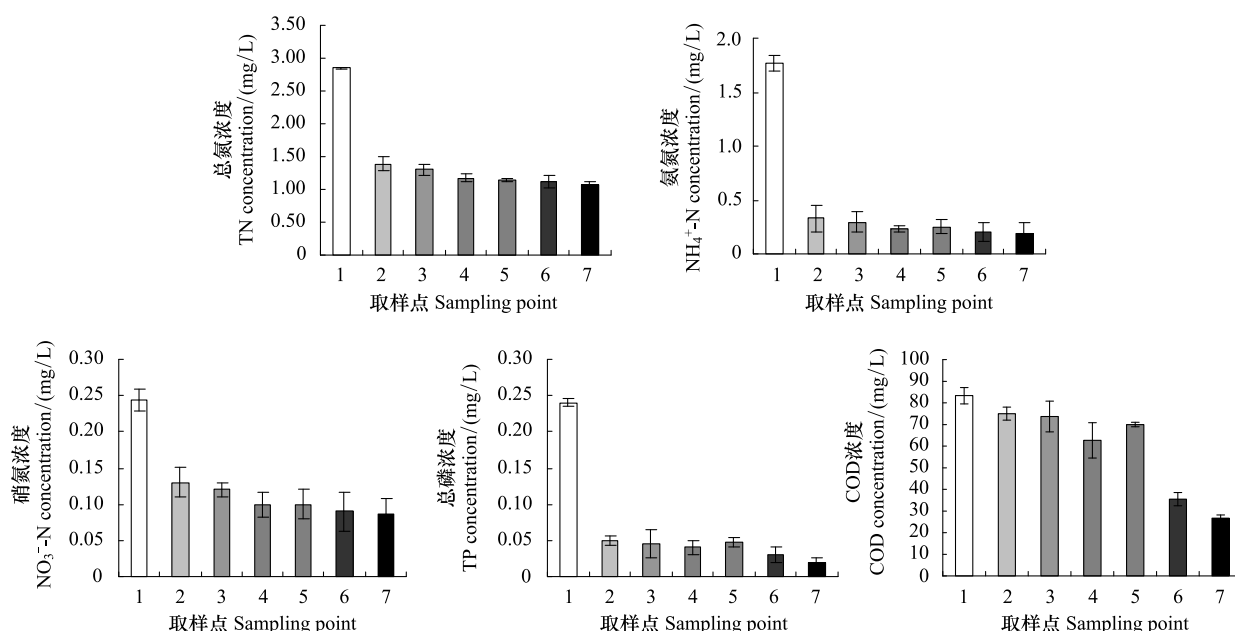


图3 各样点 TN、NH₄⁺-N、NO₃⁻-N、TP 和 COD 浓度的变化

Fig.3 Variation of the concentration of TN、NH₄⁺-N、NO₃⁻-N、TP and COD

3.2 湿地景观变化

永丰河入湖河口湿地恢复前,景观破碎化加剧,河口湿地内淤积严重,水深较浅,蓄水量不足;水质恶化严重,参照国家地表水环境质量标准 (GB3838—2002),入湖水质基本为 V 类或劣 V 类;水环境变化导致植被多样性急剧下降,湿地内主要以污染吸收能力较强的茭草群落为主,湖面聚集大量的浮萍 (*Lemna minor* linn) 和生活垃圾,植物景观单一,观赏性较低,湿地美学价值丧失,并成为当地放养家禽的场所。入湖河口湿地经景观恢复后,该区域景观格局得到极大改善,此外,从横向与垂向两个维度出发构建的岸带景观及多种植被群落的配置丰富了湿地景观单元,逐步形成以水生植物-沼生植物-陆生植物相结合的多重景观层次,湿地空间结构得到优化配置,入湖河口区构建的优美景观与自然

景观融合为一体,使湿地美学价值得到充分发挥,为人们提供了良好的休闲游憩场所,成为实际意义上的湿地公园,增强了人们对湿地环境的向往。

3.3 恢复效益分析

(1) 永丰河入湖河口湿地修复面积约为 6hm²,恢复后平均每天可处理生活污水约 4,320 m³,体现了较强的水质净化、污染物降解效益,根据研究地水体营养物质去除率可得出,研究地对水体中 TN、NH₄⁺-N、NO₃⁻-N、TP、COD 去除量分别达到 2.8、2.5、0.26、0.35、87.5t/a。采用防治成本法或替代费用法^[10]来计算其净化污染物的价值,根据全国污水处理投资成本统计,去除 TN 的投资成本为 2.66×10^4 元/t,去除 NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N 的投资成本为 27.51×10^4 元/t,去除 TP 的投资成本为 55.8×10^4 元/t,去除 COD 的投资成本为 7.0×10^3 元/t,则永丰河入湖河口

湿地修复后每年去除 TN 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、 TP 、 COD 的价值分别为 7.4×10^4 元、 6.9×10^5 元、 7.2×10^4 元、 2.0×10^5 元、 6.1×10^5 元,合计约为 165 万元/a。

(2) 永丰河入湖河口研究地具有较强的调洪蓄水能力,通过基底改造,可存储水量达 76000m^3 ,湿地中生长的植物也减缓了洪水的流速,削减洪峰,减轻了剑湖及下游黑惠江在同一汛期的防洪泄洪压力。采用影子工程法^[11]对水文调节效应价值进行评价,依据全国水库建设投资及物价变化指数,按单位蓄水量库容成本为 $0.67\text{元}/\text{m}^3$ ^[10] 计算,可得河口恢复区调蓄洪水的价值为 5.1 万元/a。

(3) 各种水体与湿地是地球上最重要的野生生物的栖息地或避难所,根据 Costanza 等人的研究成果,提供栖息地或避难所这一服务功能的生态效益为 $439\text{美元}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ^[12]。永丰河入湖河口修复面积为 6hm^2 ,可得出河口湿地提供栖息地或避难所这一服务功能的年生态效益约为 1.6 万元/a。

(4) 入湖河口湿地恢复后拉近了人与自然的距离,成为剑川县首个湿地休闲公园,为人们提供了休闲娱乐和游赏的舒适环境,目前,该区域平均游人量约为 100 人/d,主要为当地居民,平均消费较低,人均花费约 59 元,其中水生态系统在旅游花费中的作用比例为 12.3%^[12],可得出恢复区旅游价值为 26 万元/a。随着环境的不断改善,游客数量的增长和客源的变化,其旅游价值将成倍增长。

(5) 剑川县建有污水处理厂 1 座,日处理能力为 $1.0 \times 10^4\text{m}^3$,目前我国城镇污水处理厂平均电耗为 $0.290\text{kWh}/\text{m}^3$,剑川县实行电价为每千瓦时 0.45 元,每天能消耗费用约需 1,300 元,研究地入水口平均进水量为 $0.05\text{m}^3/\text{s}$,平均每天可处理生活污水约 4320m^3 ,可节省污水处理站约 43% 的能耗,经计算可节省约 20 万元/a 的能耗开销。

(6) 建立合理利用优质水资源的生态农业系统,在 6hm^2 恢复区进行生态养鱼,据剑川县渔业部门 2011 年统计,该县鱼塘年均产量 $45\text{t}/\text{hm}^2$,市场平均价格 2 万元/t,按该产量的 50% 计算,恢复区进行生态渔业养殖可增收约 270 万元/a。

剑湖入湖河口湿地恢复后,湿地功能效益得到优化,具有巨大的生态系统服务功能价值与间接价值,经计算,目前可产生生态功能价值与市场价值总计约为 500 万元/a,而根据剑川县农业局相关资料

统计,周边种植同面积农作物产值仅为 15 万元/a。

4 讨论与结论

在对水环境修复效果的评估研究中,水质的变化是评估湿地修复效果的重要方面^[13]。研究地恢复 2a 后的水质监测结果表明:入湖水体中 TN 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、 TP 、 COD 及透明度等指标明显改善,去除率分别达到 62.5%、89.3%、62.5%、91.7%、68.0%,水体透明度提高 101%,与以往大量研究结果相一致^[14-17]。表明实验研究采取的入湖河口湿地修复措施,对生活污水具有良好的净化效果。但不同湿地植物群落之间净化效果存在差异,A(茭草+金鱼藻)群落对 TN 、 TP 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的净化效果明显高于其它 5 组群落,A 群落的配置不仅有利于对水体中较高含量 N、P 营养物质的消减,而且有助于茭草+金鱼藻群落的生长。野外观测结果也表明茭草+金鱼藻群落生长旺盛,而处于试验区水体氮磷含量相对较低区域的 C 群落,虽为相同植物配置群落(茭草+金鱼藻),但茭草植株较小,枝叶枯黄,群落生长状况明显弱于 A 群落。可见,植物物种存在明显的氮磷偏好性,许多学者研究表明茭草与金鱼藻均为喜氮磷植物,对生活污水中 N、P 的消减量 and 去除率较高^[18-19],本研究也证明氮磷浓度较低的水体并不适合茭草+金鱼藻群落的生长,这一现象说明,污染水体的修复治理必须选择性利用适合不同污水浓度的水生植物进行合理的群落配置,而当水质得到明显改善,就应及时把喜氮磷植物移出系统以利于湿地生态系统的健康。

另外,采用不同生活型配置的群落,对 N 的去除效果明显不同,B 群落采用浮叶植物+挺水植物,配置为野菱+菖蒲+慈姑,D 群落采用沉水植物+挺水植物,配置为穗状狐尾藻+菖蒲+慈姑,挺水植物均相同,但 B 群落对 TN 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 去除率明显低于 D 群落,似乎沉水植物比浮叶植物具有更强的氮富集能力。其它研究也表明沉水植物多的群落具有更好的除氮效果^[14],这可能由于沉水植物通过植物体吸收水体中氮的同时,根部也同样吸收底质中氮,而具备更强的吸附降解能力,徐守国等^[20] 研究结果指出沉水植物是污染湖泊氮磷净化的主体,甚至较挺水植物具有更好的净化效果,而目前的污染湖泊治理或修复实践往往忽视这一点。

研究中还发现不同湿地植物群落对 COD 净化效果存在差异,E(茭草+篳齿眼子菜+野菱+芦苇)群落及 F(灯心草+泽藨草+菖蒲+海菜花)群落对 COD 降低率显著高于其它 4 组群落。从空间配置上看 E、F 群落植物组成相对复杂多样,为多生活型植物配置模式,E 群落为挺水+浮叶+沉水植物配置模式,F 群落为挺水+沉水+湿生植物配置模式,进一步论证了多种植物组合合理搭配具有较好处理效果^[21-22]的研究结论。因此,选择多生活型、多种类植物进行空间配置,有利于植物间的优势互补,保持对营养及有机物较好的降解吸收净化效果,使湿地系统更稳定的发挥生态功能。

湿地生态恢复的经济价值,是湿地恢复效果的重要体现。入湖河口湿地修复后,产生的生态系统服务功能价值与市场价值极为显著,粗略估算的经济价值是周边种植农作物同面积产值的 30 倍以上,该结果为传统农业种植提供了极好的利用示范,有利于削减周边农业面源污染对剑湖水环境的威胁。

对剑湖入湖口实施的基底修复、植被恢复与景观构建的综合恢复措施的分析评估表明:(1)依据植物对不同浓度污水的适应状况进行合理配置,可以最大限度发挥植物的净化作用。在植被恢复中,应针对污水来源、浓度以及植物的适应能力进行分析,选择与水质状况相适应的植物进行配置;(2)沉水植物具有更好的除氮效果,在相同条件下,提高沉水植物的配置比例可以增强对氮的净化效果;(3)多生活型、多种类的植物配置模式对生活污水的净化效果较好。

References:

- [1] Yu R R, Xie W X, Zhao Q S, Xu Z, Liu W L. Ecological safety assessment of Dagu estuary wetland in Jiao zhou Bay of Shandong Province, East China based on landscape pattern. *Chinese Journal of Ecology*, 2012, 31(11): 2891-2899.
- [2] Huang G L, He P, Hou M. Present status and prospects of estuarine wetland research in China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(9): 1751-1756.
- [3] Xiao D R, Tian K, Zhang L Q. Relationship between plant diversity and soil fertility in Napahai wetland of Northwestern Yunnan Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28 (7): 3116-3124.
- [4] Chen J, Zhao X H, He L P. Rehabilitation technique of foundation base for ecological belt construction in Littoral Abrupt-slot of Lake. *Environmental Science & Technology*, 2007, 30 (5): 21-23.
- [5] Lu J, Zhou H X, Tian G Y, Liu G H. Nitrogen and phosphorus contents in 44 wetland species from the Lake Erhai Basin. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(3): 709-715.
- [6] Wheeler B D, Shaw S C, Fojt W J. *Restoration of Temperate Wetlands*. Chichester: John Wiley & Sons, 1995: 12-87.
- [7] Huang Y C, Tian K, Yue H T, Yang Y. Purification effects of common lakeside plant communities in plateau wetlands of Yunnan on the removal of sewage nitrogen. *Ecology and Environmental Sciences*, 2012, 21(2): 359-363.
- [8] Zhang K, Tian K, Xu S G. Impacts of hydrophytes on spatial distribution of water nutrients of nitrogen and phosphorus in Jianhu wetland. *Resources and Environment the Yangtze Basin*, 2006, 15 (A01): 57-60.
- [9] The Second Newsroom of China Standard Publishing House. *China's Environmental Protection Standard Assembly: WaterQuality Analysis Method*. Beijing: China Standard Publishing House, 2001: 68-77, 188-195, 237-239, 244-246.
- [10] Zhang Y, Zhang G. Analysis on benefits of services and functions of wetland ecosystem in Dongting Lake. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2012, 28(8): 2092-2099.
- [11] Zhang L J, Li X W. Research Progress on Ecological Assets Valuation Methods. *China Land Science*, 2003, 17(3): 52-55.
- [12] OUYANG Z Y, Zhao T Q, Wang X K, Miao H. Ecosystem services analyses and valuation of China terrestrial surface water system. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 22(10): 2091-2099.
- [13] Yang Q, Tian K, Xiao D R, Li Y, Dong Y, Yang Y. Ecological restoration effect of closed and half-closed degraded wetlands in Northwest Yunnan Plateau, Southwest China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, 23(6): 1520-1526.
- [14] Li S S, Tian K, Liu Y G, Zhou Y H, Yang H M. Compare the purification effects of sewage by the wetland plant community composition and spatial patterns. *Ecology and Environmental Sciences*, 2010, 19(8): 1951-1955.
- [15] Xia H P. The removal mechanisms and dispose efficiency of constructed wetland wastewater treatment. *Chinese Journal of Ecology*, 2002, 21(4): 51-59.
- [16] Yuan D H, Ren Q J, Gao S X, Zhang H, Yin D Q, Wang L S. Purification efficiency of several wetland macro phytes on COD and nitrogen removal from domestic sewage. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(12): 2337-2341.
- [17] Yang L J, Yu B P, Wang Y X, Peng L X. Nitrogen removal in lake water treated by vertical flow constructed wetland. *Research of Environmental Sciences*, 2008, 21(3): 132-134.
- [18] Li Y, Tian K, Xiao D R, Yang Q, Xie W Y. Effects of lakeside plant spatial allocation in plateau wetlands of Yunnan, Southwest China on the removal of sewage nitrogen and phosphorus. *Chinese Journal of Ecology*, 2012, 3(6): 1425-1431.

- [19] Li W D, Liu Y G, Tian K, Liang Q B, Liu H F. Research on purification effect of Jian Lake *Zizania latifolia* wetland Lakefront zone in Northwest of Yunnan Plateau on nitrogen and phosphorus of Agricultural Non-point Source. *Agricultural Science & Technology*, 2010, 11(7): 109-112, 150.
- [20] Xu S G. Studies on the Plant Community Functions in Lakeside of Typical Plateau Wetland Nature Reserve in Northwest Yunnan. Kunming: Southwest Forestry University, 2007: 50.
- [21] Peng W T, Zou L, Duan W B, Li Y X, Pan Y Z, Zeng Z G. Efficiency of nitrogen and phosphorus removal from sewage by various combinations of wetland plants. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2012, 32(3): 612-617.
- [22] Jin X C, Yan C Z, Xu Q J. The community features of aquatic plants and its influence factors of lakeside zone in the north of Lake Taihu. *Journal of Lake Sciences*, 2007, 19(2): 151-157.
- 参考文献:
- [1] 于蓉蓉, 谢文霞, 赵全升, 徐振, 刘文龙. 基于景观格局的胶州湾大沽河口湿地生态安全. *生态学杂志*, 2012, 31(11): 2891-2899.
- [2] 黄桂林, 何平, 侯盟. 中国河口湿地研究现状及展望. *应用生态学报*, 2006, 17(9): 1751-1756.
- [3] 肖德荣, 田昆, 张利权. 滇西北高原纳帕海湿地植物多样性与土壤肥力的关系. *生态学报*, 2008, 28(7): 3116-3124.
- [4] 陈静, 赵祥华, 和丽萍. 湖泊陡岸带生态建设基底修复工程技术. *环境科学与技术*, 2007, 30(5): 21-23.
- [5] 鲁静, 周虹霞, 田广宇, 刘贵华. 洱海流域 44 种湿地植物的氮磷含量特征. *生态学报*, 2011, 31(3): 709-715.
- [7] 黄余春, 田昆, 岳海涛, 杨扬. 云南高原常见湖滨湿地植物群落对生活污水氮的净化研究. *生态环境学报*, 2012, 21(2): 359-363.
- [8] 张昆, 田昆, 徐守国. 水生植物对剑湖湿地水体 N、P 营养空间分异的影响. *长江流域资源与环境*, 2006, 15(A01): 57-60.
- [9] 中国标准出版社第二编辑室. 中国环境保护标准汇编: 水质分析方法. 北京: 中国标准出版社, 2001: 68-77, 188-195, 237-239, 244-246.
- [10] 张运, 张贵. 洞庭湖湿地生态系统服务功能效益分析. *中国农学通报*, 2012, 28(8): 2092-2099.
- [11] 张军连, 李宪文. 生态资产估价方法研究进展. *中国土地科学*, 2003, 17(3): 52-55.
- [12] 欧阳志云, 赵同谦, 王效科, 苗鸿. 水生态服务功能分析及其间接价值评价. *生态学报*, 2004, 22(10): 2091-2099.
- [13] 杨倩, 田昆, 肖德荣, 李隐, 董瑜, 杨扬. 滇西北高原闭合半闭合退化湿地的生态恢复效果. *应用生态学报*, 2012, 23(6): 1520-1526.
- [14] 李莎莎, 田昆, 刘云根, 周耀华, 杨红梅. 不同空间配置的湿地植物群落对生活污水的净化作用研究. *生态环境学报*, 2010, 19(8): 1951-1955.
- [15] 夏汉平. 人工湿地处理污水的机理与效率. *生态学杂志*, 2002, 21(4): 51-59.
- [16] 袁东海, 任全进, 高士祥, 张洪, 尹大强, 王连生. 几种湿地植物净化生活污水 COD 总氮效果比较. *应用生态学报*, 2004, 15(12): 2337-2341.
- [17] 杨立君, 余波平, 王永秀, 彭立新. 净化湖水的垂直流人工湿地的脱氮研究. *环境科学研究*, 2008, 21(3): 131-134.
- [18] 李隐, 田昆, 肖德荣, 杨倩, 谢雯颖. 云南高原湿地湖滨带植物不同空间配置对生活污水 N、P 去除的影响. *生态学杂志*, 2012, 31(6): 1425-1431.
- [20] 徐守国. 滇西北典型高原湿地保护区湖滨带功能效益研究. 昆明: 西南林业大学, 2007: 50.
- [21] 彭婉婷, 邹琳, 段维波, 李银霞, 潘远智, 曾德刚. 多种湿地植物组合对污水中氮和磷的去除效果. *环境科学学报*, 2012, 32(3): 612-617.
- [22] 金相灿, 颜昌宙, 许秋瑾. 太湖北岸湖滨带观测场水生植物群落特征及其影响因素分析. *湖泊科学*, 2007, 19(2): 151-157.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34 ,No.9 May ,2014(Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Research progress on ecosystem complexity-stability relationships based on soil food web CHEN Yunfeng, TANG Zheng, LI Hui, et al (2173)
- The ecological restoration effort of degraded estuarine wetland in Northwest Yunnan Plateau, China FU Wenchao, TIAN Kun, XIAO Derong, et al (2187)
- The correlations among arable land, settlement and karst rocky desertification-cases study based on typical peak-cluster depression ... LI Yangbing, LUO Guangjie, BAI Xiaoyong, et al (2195)
- Correlation between the distribution characteristics of poisonous plants and *Ochotona curzoniae*, *Myospalax baileyi* in the East of Tibetan Plateau Alpine meadow ecosystem JIN Liang, SUN Li, CUI Huijun, et al (2208)
- Effects of the surrounding habitat on the spider community and leafhopper population in tea plantations LI Jianlong, TANG Jingchi, LI Xiudi, et al (2216)

Autecology & Fundamentals

- Effect of soil-litter layer enzyme activities on litter decomposition in *Pinus massoniana* plantation in Three Gorges Reservoir Area GE Xiaogai, XIAO Wenfa, ZENG Lixiong, et al (2228)
- Kinetics of nutrient uptake by three emergent plants, *Phragmites australis*, *Typha orientalis* and *Scirpus triqueter* ZHANG Xiling, WANG Lixin, LIU Huamin, et al (2238)
- Effects of desertification intensity and stand age on leaf and soil carbon, nitrogen and phosphorus stoichiometry in *Pinus elliottii* plantation HU Qiwu, NIE Lanqin, ZHENG Yanming, et al (2246)
- Effects of shrub (*Caragana microphalla* Lam.) encroachment on water redistribution and utilization in the typical steppe of Inner Mongolia PENG Haiying, LI Xiaoyan, TONG Shaoyu (2256)
- Effects of shadowing on methane Emissions from *Castanopsis carlesii* and *Cunninghamia lanceolata* CHEN Xixiang, YANG Yanhua, JIANG Jun, et al (2266)
- Oviposition preference and offspring performance of the oriental fruit fly *Bactrocera dorsalis* and guava fruit fly *B. correcta* (Diptera: Tephritidae) on six host fruits LIU Hui, HOU Bohua, ZHANG Can, et al (2274)
- Pollination Mechanisms of genus *Salvia* (Lamiaceae) in East Asia (China) HUANG Yanbo, WEI Yukun, GE Binjie, et al (2282)

Population, Community and Ecosystem

- The effect of resource pulse supply on interspecific competition of a few algal species LI Wei (2290)
- Soil fertility quality assessment under different vegetation restoration patterns LI Jingpeng, XU Mingfeng, SU Zhiyao, et al (2297)
- Scale change and dependence of plant functional traits in hilly areas of the loess region, Shaanxi Province, China DING Man, WEN Zhongming, ZHENG Ying (2308)
- N and P stoichiometry of *Koeleria paniculata* leaf and soil in Xiangtan Manganese Mine wasteland XU Luyan, TIAN Dalun, WANG Guangjun, et al (2316)
- Evapotranspiration and factors influencing evapotranspiration in the spring wheat farmland of China's Loess Plateau YANG Fulin, ZHANG Qiang, WANG Wenyu, et al (2323)
- Isolation and Biolog identification of the high-efficiency azotobacter from iron tailing under different vegetation restoration modes LI Wen, YAN Aihua, HUANG Qiuxian, et al (2329)
- Assessing effects of *Cupressus chengiana* plantations in the dry valley of Zagunao River, Li county of Sichuan Province LI Dongsheng, LUO Da, SHI Zuomin, et al (2338)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Landscape diversity of *Paerargyrops edita* Tanaka stock in Minnan-Taiwan Bank Fishing Ground CAI Jiandi, SU Guoqiang, MA Chao, et al (2347)
- Landscape classification in a small area for soil series survey and mapping: a case study in the Ningzhen hills, China LU Haodong, PAN Jianjun, FU Chuancheng, et al (2356)
- Impacts of climate change on winter wheat growing period and irrigation water requirements in the north china plain HU Wei, YAN Changrong, LI Yingchun, et al (2367)

Resource and Industrial Ecology

- Factor decomposition of carbon intensity in Xiamen City based on LMDI method LIU Yuan, LI Xiangyang, LIN Jianyi, et al (2378)
- Evaluation index system of sustainable livelihoods ecotourism strategy: a case study of wangjiazhai community in baiyangdian wetland nature reserve, Hebei WANG Jin, ZHANG Yujun, SHI Ling (2388)
- Relationships between stem sap flow rate of litchi trees and meteorological parameters FAN Chao, QIU Yanping, LI Zhiqiang, et al (2401)
- Evaluation on control efficiency of bethylid parasitoids on pest insects indoor: a case of *Sclerodermus* sp. (Hymenoptera: Bethyridae) ZHAN Maokui, YANG Zhongqi, WANG Xiaoyi, et al (2411)

Urban, Rural and Social Ecology

- The dynamic change of herdsmen well-being and ecosystem services in grassland of Inner Mongolia: take Xilinguole League as example DAI Guangshuo, NA Risu, DONG Xiaobin, et al (2422)
- The construction of the eco-agricultural yards in three gorges reservoir area based on agricultural non-point source pollution zones LIU Juan, XIE Qian, Ni Jiupai, et al (2431)
- Spatial pattern gradient analysis of a transect in a hilly urban area in China from the perspective of transportation corridor sprawl LÜ Zhiqiang, DAI Fuqiang, ZHOU Qigang (2442)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的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;新书评价和学术、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 90 元/册,全年定价 2160 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

本期责任副主编 于贵瑞

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 34 卷 第 9 期 (2014 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 9 (May, 2014)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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:100717	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 90.00 元