

第三届全国期刊奖提名奖
第二届全国期刊奖百种重点期刊
第三届中国科协优秀期刊二等奖
中国科学院优秀科技期刊一等奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

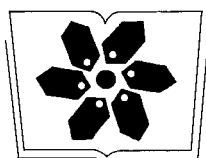
(Shengtai Xuebao)
(Ecology in China)

第 27 卷 第 12 期
Vol.27 No.12

2007



中国生态学会 主办
科学出版社 出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 27 卷 第 12 期

2007 年 12 月 (月刊)

目次

U ^{K37} 沉积地层记录:三门湾海表温度(SST)和 El Niño 现象及其对大型底栖动物生命活动的影响	张海生,陆斗定,朱小莹,等(4935)
长江口潮间带大型底栖动物群落演替	章飞军,童春富,谢志发,等(4944)
楚科奇海及其海台区粒度分级叶绿素 a 与初级生产力	刘子琳,陈建芳,张 涛,等(4953)
香溪河流域梯级水库底栖动物群落比较	邵美玲,韩新芹,谢志才,等(4963)
高寒草甸生态系统中高原鼠兔和高原麝鼠的捕食风险及生存对策	杨生妹,魏万红,殷宝法,等(4972)
长江中游生态区湿地保护空缺分析及其保护网络构建	李晓文,郑 钰,赵振坤,等(4979)
河水漫溢对荒漠河岸林植物群落生态特征的影响	徐海量,叶 茂,李吉玖,等(4990)
气候变化对无定河流域生态水文过程的影响	莫兴国,林忠辉,刘苏峡(4999)
凉水、帽儿山低级溪流中水生昆虫的群落特征及水质生物评价	李金国,王庆成,严善春,等(5008)
梭梭(<i>Haloxylon ammodendron</i>)生理与个体用水策略对降水改变的响应	许 皓,李 彦,邹 婷,等(5019)
沿海蝗区东亚飞蝗(<i>Locusta migratoria manilensis</i>)产卵场所选择的 Logistic 回归模型	季 荣,高增祥,谢宝瑜,等(5029)
天目山物种多样性尺度依赖及其与空间格局关系的多重分形	杜华强,汤孟平,周国模,等(5038)
生活垃圾堆肥淋洗液培植无土草皮的生态特征	多立安,廉 菲,赵树兰,等(5050)
降水、土壤水分和结皮对人工梭梭(<i>Haloxylon ammodendron</i>)林的影响	马全林,王继和,朱淑娟(5057)
褐飞虱的降落机制	胡 高,包云轩,王建强,等(5068)
东海浮游植物数量分布与优势种	罗民波,陆健健,王云龙,等(5076)
基于 MODIS 的中国陆地植被生长及其与气候的关系	何 勇,董文杰,郭晓寅,等(5086)
不同地理种群草间钻头蛛(<i>Hylyphantes graminicola</i>)对杀虫剂的敏感性及抗、感种群的相对适合度	冯 涛,彭 宇,刘凤想,等(5093)
山西岚县皇姑梁小流域人工植物群落生态	王尚义,李素清,曹志敏,等(5098)
桂西北喀斯特人为干扰区植被自然恢复 22 年后群落特征	曾馥平,彭晚霞,宋同清,等(5110)
雪被对川西高山植被坡向性分异的影响	吴 彦,V. G. Onipchenko(5120)
东北主要树种倒木分解释放的 CO ₂ 通量	孙秀云,王传宽(5130)
怪柳(<i>Tamarix</i> spp.)和梭梭(<i>Haloxylon ammodendron</i>)的“肥岛”效应	李 君,赵成义,朱 宏,等(5138)
中国森林的地下碳分配	陈光水,杨玉盛,谢锦升,等(5148)
不同年龄阶段马占相思(<i>Acacia mangium</i>)人工林营养元素的生物循环	何 斌,秦武明,余浩光,等(5158)
桂西北喀斯特洼地土壤有机碳和速效磷的空间变异	张 伟,陈洪松,王克林,等(5168)
凉水和帽儿山地区低级溪流生境和水质状况	王庆成,姚 琴,牟 溥,等(5176)
稻秆浸泡化学组分变化对抑制球形棕囊藻(<i>Phaeocystis globosa</i>)生长的影响	杨维东,高 洁,刘洁生,等(5184)
外源一氧化氮对模拟酸雨胁迫下箬竹(<i>Indocalamus barbatus</i>)光合特性的影响	谢寅峰,杨万红,杨 阳,等(5193)

温室条件下增强 UV-B 辐射对小麦、谷子大小等级性和异速生长的影响	田向军,林 玥,邱宗波,等(5202)
华北平原冬小麦冠层导度的环境响应及模拟	黄 辉,于贵瑞,孙晓敏,等(5209)
尿素施用量对小麦根际土壤微生物数量及土壤酶活性的影响	马冬云,郭天财,宋 晓,等(5222)
紫花苜蓿(<i>Medicago sativa</i>)对干旱胁迫的光合生理响应	韩瑞宏,卢欣石,高桂娟,等(5229)
毛尖紫萼藓(<i>Grimmia pilifera</i> P. Beauv) PSII 光化学效率对脱水和复水的响应	衣艳君,刘家尧(5238)
马尾松和香樟的抗土壤酸化能力及细根生长的差异	李志勇,王彦辉,于澎湃,等(5245)
玉米农田土壤呼吸作用的空间异质性及其根系呼吸作用的贡献	韩广轩,周广胜,许振柱,等(5254)
流域尺度绿洲土壤盐分的空间异质性	王玉刚,肖笃宁,李 彦(5262)
不同尺度景观空间分异特征对水体质量的影响——以深圳市西丽水库流域为例	岳 隽,王仰麟,李贵才,等(5271)
基于土地覆盖/利用模式的云南省抚仙湖流域生态资产评估	刘 阳,吴 钢,高正文(5282)
中国人均生态足迹与生物承载力变化的 EMD 分析及情景预测	陈成忠,林振山(5291)
不同给药方式下环丙沙星在模拟水生态系统中的归趋	陈菊芳,周孝治,聂湘平,等(5300)
围隔藻类水华演替过程中二甲基硫化物的含量动态	李 猛,袁东星,汤坤贤(5308)
Ca 在水稻籽粒中的富集及其与其它 7 种元素的关系	陈 刚,刘爱平,周卫东,等(5318)
雷琼牛 GH 基因第五外显子遗传多样性及其分化	李永红,常 洪,耿荣庆,等(5325)
综合生命周期分析在可持续消费研究中的应用	刘晶茹, Glen P. Peters ,王如松,等(5331)
专论与综述	
飓风和台风对沿海地区森林生态系统的影响	全 川,杨玉盛(5337)
丛枝菌根真菌伴生细菌的研究进展	龙良鲲,姚 青,艾云灿,等(5345)
湖泊-流域生态系统管理的内容与方法	刘 永,郭怀成,黄 凯,等(5352)
杂草种子传播研究进展	李儒海,强 胜(5361)
社会-生态系统恢复力研究综述	孙 晶,王 俊,杨新军(5371)
海藻糖介导的信号转导与植物抗逆性	罗 音,杨兴洪,王 玮(5382)
问题讨论	
物种对资源竞争的动力机制及数值模拟	梁仁君,林振山,韩洪凌,等(5390)
PCBs 对红树林沉积物中微生物及酶活性的影响	孙红斌,刘亚云,陈桂珠(5398)
研究简报	
Na ₂ CO ₃ 胁迫下星星草(<i>Puccinellia tenuiflora</i>)幼苗叶表皮和叶肉细胞中 K、Na 的相对含量	陈 刚,杨 威,孙国荣,等(5408)
种植转 Bt 基因抗虫棉对土壤生物学活性的影响	万小羽,梁永超,李忠佩,等(5414)
黄足黄守瓜(<i>Aulcophora femoralis chinensis</i>)取食和机械损伤对南瓜子叶中葫芦素 B 的诱导作用	刘 慧,许再福,黄寿山(5421)
“螺-草”的互利关系	李宽意,文明章,杨宏伟,等(5427)
黑麦草-内生真菌共生体对磷缺乏的生理生态反应	任安芝,高玉葆,周 芳,等(5433)
铅、锌及其交互作用对鱼腥草(<i>Houttuynia cordata</i>)叶绿素含量及抗氧化酶系统的影响	李铮铮,伍 钧,唐 亚,等(5441)
盐胁迫对高羊茅(<i>Festuca arundinacea</i>)幼苗生长和离子分布的影响	朱 义,谭贵娥,何池全,等(5447)
VA 真菌对构树(<i>Broussonetia papyrifera</i>)幼苗物质代谢的影响	何跃军,钟章成,刘济明,等(5455)
不同生态条件下油松(<i>Pinus tabulaeformis</i>)菌根根际土壤微生物群落	张海涵,唐 明,陈 辉,等(5463)

河水漫溢对荒漠河岸林植物群落生态特征的影响

徐海量¹, 叶 茂², 李吉玫¹, 王卫江³

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; 2. 新疆师范大学地球科学与旅游学院, 乌鲁木齐 830054;

3. 新疆农业大学林学院, 乌鲁木齐 830052)

摘要:从河水漫溢干扰对塔里木河下游植物群落物种多样性的影响以及对天然植被恢复作用上开展了分析和研究, 结果表明: (1) 输水前塔里木河下游仅见 9 科 13 属 17 种植物, 但输水后漫溢区出现了 12 科 26 属 34 种植物, 其中的 18 种植物是非漫溢区未曾发现的; (2) 从样地植被调查计算的多样性指数看, 漫溢区物种的多样性和丰富度比非漫溢区有明显增加; (3) 从漫溢后一定时间内植物群落中不同物种的重要值看, 漫溢后 1 年生草本植物迅速萌发, 而多年生草本由于根系和繁殖上的优势逐渐在群落中占据优势; (4) 由于胡杨、柽柳等植物在多次漫溢条件下易于萌发, 因此多次漫溢后这些乔、灌木植物逐渐占据群落中的优势地位; (5) 在漫溢过程中由于微地形改变了漫溢干扰的强度因此漫溢后微地形差异造成地表生态特征出现明显的差异; (6) 通过讨论, 漫溢干扰对塔里木河下游这样一个严重受损生态系统恢复的作用十分明显, 但是这一作用的体现是与输水后下游生态水文过程完整性的恢复相联系的。

关键词:塔里木河下游; 河水漫溢; 干扰; 植被恢复

文章编号: 1000-0933(2007)12-4990-09 中图分类号: Q948 文献标识码: A

The influence of the river flooding disturbance on the native vegetation restoration in the lower reaches of Tarim River

XU Hai-Liang¹, YE Mao², LI Ji-Mei¹, WANG Wei-Jiang³

1 Xinjiang Institute of Ecology and Geography Research, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China

2 Geography Science and Tourism College of Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China

3 Forestry College of Xinjiang Agriculture University, Urumqi 830052, China

Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(12): 4990 ~ 4998.

Abstract: This paper analyzes the influence of the river flooding disturbance on biodiversity of the degraded ecosystem and discusses the function of the disturbance on the vegetative restoration in the lower reaches of Tarim River. The results show: (1) there are seventeen species, thirteen genera and nine families before river flooding in the lower reaches of Tarim River while thirty-four species, twenty-six genera and twelve families after river flooding, in which appear eighteen new species; (2) from the plants diversity indices in investigated samples, the species diversity and richness indices in river flooding areas increase more obviously than those in non-flooding areas; (3) from the importance value of the different species after one time of river flooding, the annual herb grow quickly while the perennial herb with deeper root or root clone becomes a dominance in plant community; (4) after several times of river flooding, some arbors and shrubs such as *Populus euphratica* and *Tamarix ramosissima* Ledeb are prone to germinate and become a ecologic dominance in plant community; (5) during the period of river flooding, the ecological characteristics of the overground vegetation have differences due to the different

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30470329, 40671036, 30600092)

收稿日期: 2006-09-28; 修订日期: 2007-02-01

作者简介: 徐海量(1971 ~), 男, 江苏宝应人, 博士, 主要从事干旱区生态环境研究. E-mail: xuhl@ms.xjb.ac.cn

Foundation item: The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 30470329, 40671036, 30600092)

Received date: 2006-09-28; **Accepted date:** 2007-02-01

Biography: XU Hai-Liang, Ph. D. mainly engaged in restoration ecology in arid region. E-mail: xuhl@ms.xjb.ac.cn

intensity of the river flooding disturbances caused by microtopography; (6) the discussed results indicate that the river flooding disturbance has an obviously favorable influence on restoring the degraded ecosystem in the lower reaches of Tarim River. The influence is connected with the integrality of restoring the ecohydrological process.

Key Words: the lower reaches of Tarim River; river flooding; disturbance; vegetative restoration

随着生态退化现象在全球范围内的日益严重,关于生态恢复的研究也日益受到重视,其中国内外许多学者开展了关于洪水(河水)漫溢干扰对植物群落恢复的研究工作,如:漫溢过程中土壤理化性质变化的特点及对植被恢复可能的影响^[1];漫溢对群落再生潜力及对植物群落的组成和分布的作用^[2~5];漫溢干扰对群落生物多样性的影响^[6~8];不同植物对漫溢干扰敏感度的研究^[9];水淹干扰后不同植被的繁殖对策等^[10];而国内的一些学者也在松嫩平原开展了漫溢干扰对植物群落影响和恢复的相关研究^[11~16]。但是,这些研究均很少涉及干旱和半干旱地区。而类似塔里木河下游这样一个严重受损生态系统,在通过大规模调水工程下出现的局部河水漫溢区天然植被的动态变化过程的研究更是少有报道。本文利用自 2000 年以来在塔里木河下游开展的对河水漫溢干扰前后植被的样地调查资料,通过对比漫溢与否、漫溢前后、不同漫溢次数和漫溢后一定时间条件下的地表生态特征,分析了不同漫溢干扰对植物群落生态特征的影响,探讨了漫溢干扰对塔里木河下游植被生态恢复的作用,目的是为塔里木河流域的生态治理提供植被保护和恢复的理论依据,同时也为包括塔里木河流域在内的许多干旱区开展工程措施进行恢复和修复工作提供借鉴和依据。

1 研究区概况

研究区位于塔里木河下游大西海子至台特玛湖间,地理坐标介于东经 87.5636°~88.4583°,北纬 39.5°~40.5869°间,是新疆乃至中国生态环境最脆弱的地区之一。属暖温带荒漠干旱气候,这里降水稀少,多年平均降水量仅为 20~50 mm;而年平均蒸发量(潜势)却高达 2500~3000 mm,在干旱荒漠气候的控制下,该地区的地带性植被是温性灌木和半灌木。但由于有河水和地下水补给,河漫滩及两岸的低阶地发育着大面积以胡杨为主要建群种的荒漠河岸林植物群落。近 50a 来,由于人类不合理的水土资源开发,造成塔里木河下游出现了极其严重的生态退化问题^[17]。为了整治塔里木河下游的生态退化,中国政府于 2000 年 5 月实施了塔里木河下游生态输水工程,在输水过程中一些区域出现了大范围的河水漫溢现象,由此为本研究的开展提供了理想的研究场所。

2 研究方法

自 2000 年起,在塔里木河下游开展了详细的植被调查,植被调查范围基本包括整个研究区,并选取了 47 个 50m×50m 的植被样地开展了详细的植被样地监测,其中受漫溢影响的样地有 15 个,不受漫溢影响的样地有 32 个,均为地下水抬升区(在离河 500 m 以内地下水位升高到 5m 以上的区域)。一般在每年的 5 月和 9 月分别开展详细的地表植被调查,监测内容包括:植物的种类、个数、高度、频度、盖度等,其中频度用 1×1m² 的样框在样地内随机扔 30 次,记算每种植物出现的频次;盖度用目估法估算;生物多样性利用生物多样性指数的计算方法计算;重要值参照郝占庆等的方法^[19],选取相对频度、相对高度和相对盖度 3 个指标进行计算。

3 结果与分析

3.1 输水后漫溢区与非漫溢区地表植被调查

塔里木河下游由于长期断流造成地表水文过程的完整性丧失,下游植物群落在 2000 年输水前总体表现为植被长势极度衰败和种类贫乏(表 1)。

表 1 是对塔里木河下游地区自 2000 年起对大西海子输水闸以下 2km 范围宽的河道进行的近 7a 调查资料的汇总,表中结果显示,输水前(2000 年)塔里木河下游 321km 河道两侧 5km 范围的广阔区域发现的活植物种仅有 9 科 13 属 17 种植物,基本为深根、耐旱的植物,从本区的建群植物——胡杨的生长状况看,表现为长势的极度衰败;从年龄结构看,基本为过熟林,中幼林基本枯死,而其它的盐生草甸及盐柴类荒漠植被多已

死亡或濒于死亡,这些表明本区的生态退化已达到极为严重的程度。

表 1 塔里木河下游生态输水前后植被调查

Table 1 The native vegetation investigation before and after water conveyances in the lower reaches of Tarim River

植物种 Species	输水前 Before watering	输水后 After watering	
		A *	B *
1 胡杨 <i>Populus euphratica</i> Oliv.	✓	✓	✓
2 多枝桤柳 <i>Tamarix ramosissima</i> Ledeb.	✓	✓	✓
3 刚毛桤柳 <i>Tamarix hispida</i> Willd.	✓	✓	✓
4 多花桤柳 <i>Tamarix hohenacheri</i> Bunge.	✓	✓	✓
5 长穗桤柳 <i>Tamarix elongata</i> Ledeb.	✓	✓	✓
6 短穗桤柳 <i>Tamarix laxa</i> Willd.	✓	✓	✓
7 骆驼刺 <i>Alhagi sparsifolia</i> Shap.	✓	✓	✓
8 铃铛刺 <i>Halimodendron halodendron</i> Voss	✓	✓	✓
9 胀果甘草 <i>Glycyrrhiza inflata</i> Bat.	✓	✓	✓
10 苦豆子 <i>Sophora alopecuroides</i> L.		✓	
11 盐穗木 <i>Halostachys caspica</i> C. A. Mey.	✓	✓	✓
12 盐节木 <i>Halocnemum strobilaceum</i> Bieb.	✓	✓	✓
13 薄翅猪毛菜 <i>Salsola pellucida</i> Litv.		✓	
14 刺沙蓬 <i>Salsola ruthenica</i> Iljin.		✓	
15 盐生草 <i>Halogeton glomeratus</i> C. A. Mey.		✓	
16 地肤 <i>Kochia scoparia</i> Schrad.		✓	
17 镰叶碱蓬 <i>Suaeda prostrata</i> Pall.		✓	
18 白茎盐生草 <i>Halogeton arachnoideus</i> Moq.		✓	
19 花花柴 <i>Karelinia caspica</i> Less.	✓	✓	✓
20 河西苣 <i>Hexinia polydichotoma</i> H. L. Yang.	✓	✓	✓
21 蓼子朴 <i>Inula salsoloides</i> Ostenf.		✓	
22 蒲公英 <i>Taraxacum</i> sp.		✓	
23 苦蒿 <i>Acropteron repens</i> Prodr.		✓	
24 叉枝鸦葱 <i>Scrozonera divaricata</i>		✓	
25 扁秆蔗草 <i>Scirpus planiculmis</i>		✓	
26 扁穗草 <i>Blysmus compressus</i> Panz.		✓	
27 水葱 <i>Scirpus tabernaemontani</i> C. C. Gmel.		✓	
28 小獐毛 <i>Aeluropus pungens</i> Var.		✓	
29 芦苇 <i>Phragmites australis</i> Trin.	✓	✓	✓
30 罗布麻 <i>Apocynum venetum</i> L.	✓	✓	✓
31 黑刺 <i>Lycium ruthenicum</i> Murr.	✓	✓	✓
32 沙枣 <i>Elaeagnus angustifolia</i> L.	✓		✓
33 问荆 <i>Equisetum arvense</i> L. Sp. pl		✓	
34 戟叶鹅绒藤 <i>Cynanchum sibiricum</i> Willd.		✓	
35 喀什牛皮消 <i>Gynanchum kashgaricum</i> Liouf.		✓	

* A 为漫溢或较明显的洼地 River flooding areas or obvious billabong; B 为其它区域 Other areas

输水后塔里木河下游地表植被出现了明显的变化,特别是受河水漫溢干扰的区域,在沿河零星分布的漫溢区虽然总面积不足 10km²,但是,截止 2006 年 5 月已发现有 12 科 26 属 34 种植物,仅有的一种输水前出现而输水后漫溢区未见的植物是沙枣,这与沙枣的种子较大,不易随风飘落到距离较远的漫溢区有关,而萝藦科、木贼科、莎草科等科属的植物是输水前未曾发现的,其中种类增加最多的是藜科植物从输水前的 2 种增加到输水后的 8 种;同时,单位面积样地内的植物种类数也随之增加,其中变化最明显的区域从输水前的 2 种/2500m²增加到输水后的 17 种植物/2500m²,这也突出地反映在生物多样性指数的变化上。

3.2 漫溢前后群落生物多样性指数的变化

3.2.1 漫溢前后植物群落生物多样性指数的变化

漫溢后植物种类的变化突出地体现在单位面积样地内生物多样性指数的变化上,为了表现这一变化的特点,选取塔里木河下游漫溢前、漫溢后和经过多次漫溢后各 5 个典型样地分别计算了 Shinner、Simpson、Mcintosh、Menhinnick、Margelef、Alatalo 和 Pielow 指数,图 1 是其对比结果。

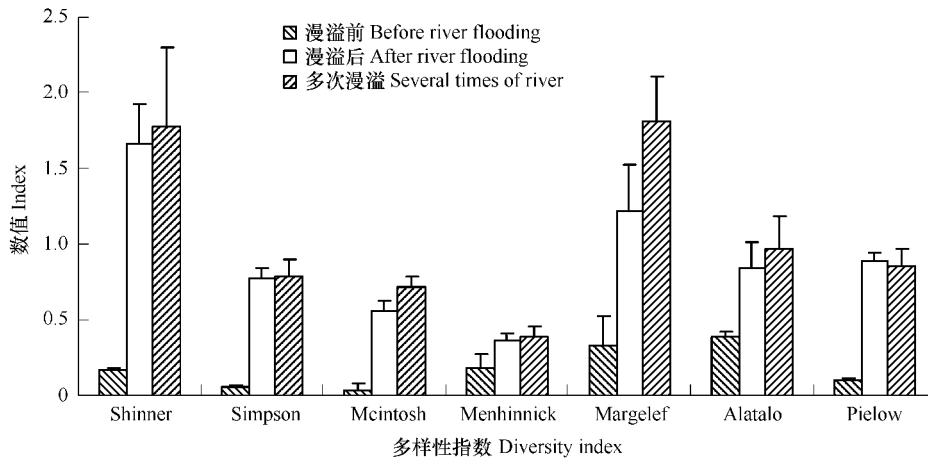


图 1 塔里木河下游河水漫溢前后地表植物生物多样性指数的差异

Fig. 1 The difference in the diversity indices of the native vegetation before and after river flooding in the lower reaches of Tarim River

图 1 是选取塔里木河下游喀尔达依断面典型样地在漫溢前、漫溢后和多次漫溢条件下生物多样性指数的对比结果,从图上看漫溢后各指数均比漫溢前有了较大的增加,其中漫溢前这几个指数均在一个较低的水平上,例如 Shinner、Simpson、Mcintosh 指数的平均值仅有:0.165、0.061 和 0.031;而漫溢后各指数均出现了明显的增加,如上 3 个指数值达到了:1.660、0.767 和 0.554,而这些指数的平均增加幅度为 717%;而多次漫溢后与漫溢前相比更是达到了 833%;这一方面说明漫溢过程对本区生物多样性增加的作用十分显著,同时也是由于本区长期缺水造成植物群落严重退化,作为最重要的限制因子水分条件的变化对植物群落的影响十分突出。

当然出现如此强烈的变化也是与生态输水工程直接相联系的,塔里木河下游输水前的长期断流造成本区天然植物群落出现了全面衰败的景象,除个别植物生活在垂死状态下,多数植物因无法忍受严重的干旱胁迫而死亡,生态输水工程改变了这一状况,输水后由于地下水位的抬升多数样地的生物多样性指数有明显的提高,但是这一增加与漫溢后生物多样性指数的变化相差很大,例如:以喀尔达依断面的漫溢区与非漫溢区的 Shinner 指数的变化为例,输水前均为:0.061 ± 0.003 (SD),输水后(2002 年)漫溢区为 1.66 ± 0.262,而地下水抬升区为 0.708 ± 0.178,漫溢区比非漫溢区增加了约 134%,说明漫溢过程对下游植物群落生物多样性恢复的作用要比地下水抬升区明显的多。而多次漫溢与仅一次漫溢对生物多样性的影响相比前面的差异要小,在本区距离约 200m 外的河漫滩由于地势较低可以在每次输水过程中经受漫溢作用的影响,它的多样性指数相比漫溢区的要大,这些指数数值的平均增大的幅度为 16.24%。

3.2.2 漫溢后不同时间植物群落组成的变化

根据调查,河水漫溢干扰对植物群落的影响除表现为漫溢前后种类的差异和多样性的变化外,还表现在漫溢后一定时间内植物群落物种组成的变化上,以塔里木河下游卡尔达依断面的漫溢区为例,漫溢过程发生在 2001 年,漫溢过程持续的时间较长,2002 年春多数漫溢区域的地表仍有积水;为了掌握此次漫溢过程对下游植被恢复的影响,于 2002 年 9 月~2006 年 5 月(期间未再发生漫溢作用)开展了详细的地表植被调查,选取了 5 个 50m × 50m 的样地,再将每个样地划分为 25m × 25m 的小样方共 20 个,利用植被重要值的计算方法,对主要建群植物的重要值及该值在样地中的排名列表表示(表 2)。

表 2 典型样地漫溢后不同时间群落主要植被重要值的变化

Table 2 The importance value of main vegetative community in the typical samples after river flooding

植物种 Species	2002 年 9 月 September, 2002		2004 年 9 月 September, 2004		2005 年 9 月 September, 2005		2006 年 5 月 May, 2006	
	重要值 Important value	排名 Order	重要值 Important value	排名 Order	重要值 Important value	排名 Order	重要值 Important value	排名 Order
猪毛菜 <i>Salsola pellucida</i>	0.8416	1	0.1450	3	0.0321	6	0	
盐生草 <i>Halogeton glomeratus</i>	0.2521	2	0.1131	4	0.0437	5	0	
河西苣 <i>Hexinia polydichotoma</i>	0.0777	4	0.0880	5	0.2650	2	0.139	3
骆驼刺 <i>Alhagi sparsifolia</i>	0.0466	5	0.1527	2	0.1967	3	0.174	2
黑刺 <i>Lycium ruthenicum</i>	0.1098	3	0.2860	1	0.3149	1	0.207	1
芦苇 <i>Phragmites australis</i>	0.0233	6	0.0870	6	0.0471	4	0.072	4

表 2 是同一块地内不同植物在漫溢后近 5a 时间内在群落中的重要值及其在群落中的排名变化,从表中结果看,漫溢后第 1 年植物群落的结构就发生了明显的变化,植被盖度由输水前的 5% 左右,迅速增加到 60% ~ 80%,其中变化最明显的是是一年生草本植物的大量萌发,由此造成猪毛菜和盐生草的重要值在群落中排在前两位,说明漫溢后它们是漫溢区恢复的先锋植物,但是漫溢 3a 后由于没有新的河水漫溢作用,这些 1 年生草本的生长受到制约,在群落中的地位逐步下降,到 2006 年已基本消失,但是受输水后地下水位抬升的影响,灌木和多年生草本得到了明显的恢复,如黑刺在群落中重要值的排名自 2004 年起一直保持在首位,从实地调查看,这主要是在一些未完全死亡的枯枝在水分条件变化后重新萌发的结果,而多年生草本的变化相对则更为复杂,从 2002 年的调查看,漫溢后出现了许多种子萌发的幼苗,由于这些多年生草本植物的根系普遍较深,不像 1 年生草本仅能依靠表层的土壤水为生,这些幼苗长大后能够依靠从较深的土层或地下水中获取水分,加之多数有根萌的优势,在地下水位不是太深的区域,它们能够通过根系的克隆繁殖而造成生长区间范围的扩展和在群落中地位的提高,而这点对于认识漫溢过程对本区植被恢复的意义有重要的价值。

3.3 多次漫溢对群落结构波动的影响

漫溢后一定时间植物群落的结构会发生变化,而不同漫溢干扰也会对群落产生明显的影响。与表 2 样地距离仅 300m 的河边样地,由于受河水反复漫溢作用,造成植物群落结构出现了与表 2 不同的波动特点。

表 3 是靠河岸的一片漫溢区,其中 2002 年的数据为一次漫溢后群落中主要植物的重要值,由于其后该区域基本在每次输水过程中均受到河水漫溢作用的影响,因此估计大的漫溢次数在 2005 年为 5 次漫溢、2006 年为 6 次漫溢(漫溢数以 2001 年后的输水次数计),从首次漫溢后的结果看与表 2 基本类似,也是形成以 1 年生草本为主的群落类型;但是,随着漫溢次数和持续时间的增加,样地植被组成发生了与表 2 不同的变化规律,首先是胡杨和柽柳等植物种子的大量萌发造成胡杨的重要值从无升高到排名第一,而 1 年生草本与多年生草本差别不大,而随着胡杨和柽柳幼苗的长大,重要值的排序又发生了明显的变化,最突出的是由于柽柳幼苗重要值的快速增加和 1 年生草本的减少,在 2006 年该样地的群落已经与塔里木河下游典型的荒漠河岸林群落类型基本相似,说明塔里木河下游典型植物群落的形成是多次漫溢的结果。

为了了解多次漫溢后群落结构出现明显波动的原因,在样地附近对几种主要建群植物的根系进行了调查,其中小胡杨虽然地上部分只有 30 ~ 50cm,但是根系普遍超过了 2m,地上与地下长度的比一般在 1:6 左右,而柽柳与它基本类似,地上部分一般在 10 ~ 40cm,而地下的根系一般也达到 1.5m 左右;多年生草本的根系因生长时间较深,在所挖的 4 ~ 5m 的深度内,除芦苇的根系基本到底外,其它似乎还很深,而 1 年生草本猪毛菜和盐生草的根系一般不足 20cm,随着河水漫溢的作用,河边有大量被冲出根系的猪毛菜和盐生草,这说明随

着漫溢次数的增加,具有深根植物种子萌发的幼苗在群落中逐渐占据优势地位,而 1 年生草本的生长反而因根系太浅易被冲走而受到抑制。

表 3 典型样地多次漫溢后主要植被重要值的变化

Table 3 The changes in the importance value of the main vegetation after several times of river flooding in typical samples

植物种 Species	生活型 Life form	2002		2005		2006	
		重要值 Important value	排名 Order	重要值 Important value	排名 Order	重要值 Important value	排名 Order
胡杨幼苗 Seedling of <i>Populus euphratica</i>	乔木 Arbor	0		0.3593	1	0.281	1
柽柳幼苗 Seedling of <i>Tamarix</i>	灌木 Shrub	0		0.0802	6	0.260	2
骆驼刺 <i>Alhagi sparsifolia</i>	多年生草本 Perennials herbaceous	0.0466	3	0.1527	3	0.048	4
猪毛菜 <i>Salsola pellucida</i>	1 年生草本 Annual herbaceous	0.5460	1	0.2704	2	0.036	5
河西苣 <i>Hexinia polydichotoma</i>	多年生草本 Perennials herbaceous	0.0350	4	0.0836	5	0.048	4
芦苇 <i>Phragmites australis</i>	多年生草本 Perennials herbaceous	0.0233	5	0.0513	5	0.067	3
盐生草 <i>Halogeton glomeratus</i>	1 年生草本 Annual herbaceous	0.2139	2	0.1417	4	0	

3.4 漫溢过程中微地貌差异的影响

漫溢过程中微地形的影响是漫溢干扰研究的一个的热点,主要从微地形差异对土壤水分和土壤中种子分布的角度来考虑^[7];从塔里木河下游的植被调查看,漫溢后微地形条件对地表植被的生物多样性影响很大,以英苏和喀尔达依的两个洼地的生物多样性与周边平地的植被种类数进行对比研究可以发现微地形对植被的长势和种类的影响很大。

表 4 输水后不同条件的样地几种生态指标的比较

Table 4 Several ecological indices in the different samples before and after watering

生态指标 Ecological indices	漫溢平坦区 Flat areas with river flooding		漫溢洼地 Billabong areas with river flooding		地下水抬升区 Groundwater elevated areas	
	最高 Maximum	平均 Average	最高 Maximum	平均 Average	最高 Maximum	平均 Average
单位面积植物种数 per areas plants species numbers (number/100m ²)	14	5.2	16	7.8	5	2.857
植被盖度 Vegetative coverage (%)	45	33.2	95	57	55	23
植被密度 Vegetative density (No. /100m ²)	1650	1209.3	2178	1751.4	153	64.25
Simpson index	1.42	0.84	1.65	1.12	0.47	0.296
Margalef index	1.61	0.98	1.98	1.23	0.83	0.606

表 4 是在英苏和喀尔达依间选取了漫溢平坦区 6 个样地、漫溢洼地 3 个样地和地下水抬升区 14 个样地的几个生态指标的对比结果,从表中看,漫溢后无论在单位面积内植物种类数还是植被密度以及生物多样性指数方面,漫溢区与非漫溢区的差别均是非常明显的,说明漫溢过程中微地貌的影响是一个不容忽视的重要因素,因为微地形影响了漫溢后水分在局部地区停留的时间,从而在客观上改变了漫溢持续的时间和作用的强度,这点在表 4 中表现为漫溢后低洼地的各项生态指标均较平地要高,同时调查显示在低洼地内的幼苗中为种子萌发的约占 86.7%,而在漫溢平地中这一数量不足 20%;加之洼地持续积水区内出现了一些如水葱等

在本区域从未出现也未在任何文献中记载的植物,这说明微地形条件的差异可以影响植物体的繁殖方式和增加地表植物群落的物种丰富度,总之,漫溢过程中微地形的差异在一定程度上起到了加速植物群落生态恢复的作用。

4 讨论

国内外开展了大量关于漫溢作用的研究,但是多数的研究是关于自然洪水过程对植物群落干扰的研究,而在干旱区由于洪水出现的几率相对较少开展这方面研究的报道也很少,而本文研究的漫溢实际上是为了恢复本区严重受损生态系统采取的大规模人为调水措施下,由于河道过水不足或受阻后出现的自然河水漫溢现象,以及在发现了漫溢区植被的长势和种类与非漫溢条件下显著差异后采取的小范围的人工创造漫溢的过程,由于这些漫溢的强度和频次不可能太大,因此漫溢干扰对植物群落的影响基本是有益的,这与国外许多学者提出的中度干扰理论^[20,21]是不矛盾的。而漫溢后出现了明显的植被变化,笔者认为可以从几方面来理解漫溢干扰对塔里木河下游植物群落恢复的作用:

(1)塔里木河下游原先是一个植被茂密、种类众多的区域,虽然经历了长期的断流造成生态系统的严重退化,但是许多干旱区植物种子具有的休眠和耐受能力使得它们能够长期存活,加之本区多数植物的种子具有独特的形态特征,使得它们可以在风、水等媒介的作用下传播到很远的区域,当遇见合适的环境条件时它们可以很快繁殖和生长,而漫溢区不仅可以使这些种子的繁殖成为可能,而且,由于地面潮湿又能够使这些有萌发潜力的种子在漫溢区大量富集而不易被风吹走,从而使漫溢区土壤种子库中的植被无论在密度、长势和盖度等均表现与非漫溢区不同的特点,这可以从笔者在塔里木河下游开展的土壤种子库实验得到验证,见图2。

图2是通过萌发实验测定的单位面积土壤种子的密度,虽然与松嫩平原漫溢后种子的密度相比还很低,但是平均342.8个/m²的种子密度已经完全可以说明漫溢后出现如此明显生态变化的原因了。同时,漫溢后漫溢区土壤种子库中有活力的种子数量要远高于非漫溢区,说明漫溢干扰作用又能够促进漫溢区生成更多的种子,这就为该区域今后的植被恢复提供了潜在的条件。

(2)漫溢过程不仅能够激活土壤中的种子库,而且河水漫溢过程本身有可能为漫溢区带来新的种子,这一点目前虽然还没有充分的证据,但是,笔者在塔里木河下游连续开展两年多的种子库实验仅发现了20多种植物,另外,一些植物如:水葱、扁秆蔗草等均是生活在水分条件较好的区域,加之以往的调查中均未见记载,考虑到断流30a的事实,它们的出现很难说是当地土壤种子库种子激活,而在输水过程中河水从博湖经几百公里的人工绿洲再汇入下游是否有许多种子会沿河而下是不能被完全排除的。

(3)干旱区植物极强的生存能力使得漫溢过程起到了促进植被恢复的作用,以表2为例,由于本区干旱的气候环境和强烈的蒸发,造成表层土壤含水率非常低,无法满足种子萌发的条件,加之长期的断流造成地下水位很低,这样对当地植物的影响是双重的:①抑制了植物的生长,从而在客观上限制了具有根萌能力的植物的根孽繁殖;②限制了植物的种子萌发的条件,由此造成植被种子萌发无法实现;而输水后虽然地下水位得到了抬升,但是长期干旱的环境造成本区多数植物已经死亡,除个别植物的长势得到好转和能够根萌新的幼苗外,其它植物仍然无法繁殖,而漫溢的过程刚好提供给这些植物种子重新萌发的条件,一旦它们能够存活,在地下水位较高和具有根孽繁衍的优势,它们又可以成片地繁衍。而本区主要的建群植物胡杨和怪柳,它们的种子从落种到有萌发活力的持续时间一般不足20d,并且一般在土层2cm以下种子所提供的能量不能使上胚轴破土萌发,因此一般情况下种子萌发繁殖较难实现,但是多次漫溢刚好增加了这些种子萌发的机率,恰好

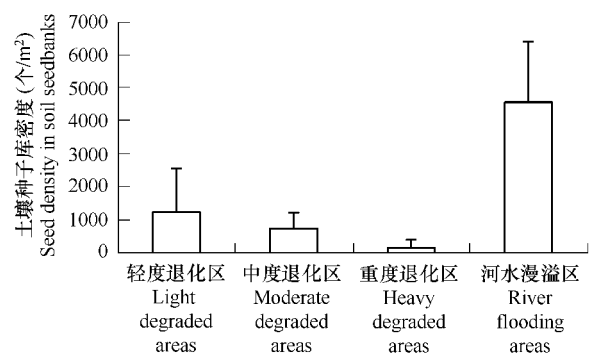


图2 塔里木河下游不同区域土壤种子库种子密度

Fig. 2 Seed density of the soil seedbanks of the different areas in the lower reaches of Tarim River

某次漫溢作用刚好与它们种子落种的时间相吻合,由此造成多次漫溢区植被的组成与仅漫溢一次的区域植物群落的组成不同,而多年生草本和乔、灌木植物大量的种子萌发不仅表明多次漫溢干扰对于群落结构的影响,而且也有利于本区植物群落的生态恢复。

但是,在塔里木河下游由于极度的环境退化和长期的流域水文过程完整性的丧失,造成漫溢干扰对植物群落恢复的作用也存在一定的局限性,这主要表现在以下几点上:①漫溢干扰恢复的效果是与当地植被生长的状况密切相关的;在植被退化非常严重的区域恢复的效果明显要差,这可以从表中极度退化区域土壤种子库中具有活力种子的密度明显低于其它区域来说明,而这些区域虽然经历了漫溢但是恢复的效果要差;②漫溢区植被恢复的状况与地下水位是有直接联系的。不能仅看到漫溢对植被恢复的作用而忽视了地下水变化的作用,从塔里木河下游的植被变化看,河水漫溢的作用更多地体现在植被恢复的促进作用上。因为即使漫溢使得许多植物能够萌发,但是没有地下水位保证的区域它们也仅仅是萌发,而无法生存更不用说繁衍;③漫溢作用与漫溢持续的时间和水量有关。从表 4 看,多次漫溢区的植物组成中胡杨、柽柳的种子萌发得以实现,假设为了更合理地利用干旱区宝贵的水资源,而将漫溢的时间与这些植物落种的时间尽量相吻合,实现一种生态上的默契,以提高这些植物种子萌发的比例;④漫溢作用在植被群落恢复过程中的种子萌发上呈现较明显的时间滞后的特点,相比水分条件好转后根萌而言,种子萌发一般要晚,观察发现,由于输水一般是在每年的 5~9 月份实施,植被长势的变化一般发生在 1a 后,而根萌幼苗的出现一般是在 2a 后,而实地调查的种子幼苗的成片出现一般是在 3~4a 后才发现,这到底是因为目前的间歇性输水造成的还是退化严重区域的植物种子活力不足还需要继续的研究。

5 结论

(1)漫溢干扰对于塔里木河下游植物群落恢复的效果是仅依靠地下水抬升作用所无法替代的,这点突出地表现在地下水抬升区未出现新的物种,而漫溢区新增加了 17 种植物,同时,漫溢区生物多样性指数比未漫溢区域的大幅增加表明:河水漫溢作用对塔里木河下游这样一个地处于干旱区内陆河流域受损生态系统恢复的效果是比较明显的。

(2)从漫溢干扰后一定时间植物群落物种组成的变化和不同漫溢次数后植物群落的波动看,漫溢后一般规律是一年生草本植物的大量萌发,而后由于水分条件的差异,不同生活型的植物响应的方式有所差异,其中像胡杨和柽柳等植物种子能否形成幼苗与漫溢的时间关系非常密切,因此多次漫溢区出现大片实生苗的机会较大,而多年生草本在那些经过漫溢干扰并且地下水位较合适的区域恢复的效果相对更明显,它们能在漫溢过程中实现种子的萌发,并依靠根孽繁殖的优势逐渐扩展生存范围。总体看,目前在塔里木河下游的漫溢干扰均是有利于植被的生态恢复,而要实现本区典型植物群落的恢复则需要创造多次漫溢的外部条件。

(3)从塔里木河下游河水漫溢干扰对植被恢复的作用看,漫溢的影响主要表现在促进当地植物的种子萌发,而漫溢的过程又可以增加土壤中有活力种子的密度,从而为今后的植被恢复提供潜在的机会。但是,从讨论中我们认为:塔里木河下游的生态输水工程实际上是通过输水来恢复下游河道的流域水文过程,输水后的具体表现是地下水位的整体抬升,而这是下游能出现植被恢复的前提,而河水漫溢干扰是推动了本区植被恢复的进程,如果没有漫溢干扰就不可能有成片种子萌发的幼苗出现,下游植被的变化将仅表现在长势的变化上而不是种类的变化上,但如果仅有漫溢干扰,下游生态水文过程的完整性不能彻底的恢复,那么漫溢的作用将只是激活土壤种子库,它们也只是萌发而无法长时间的繁衍和生长,因此继续开展生态输水和在适当的区域进行河水漫溢是塔里木河下游植物群落恢复的两个重要条件。

Reference:

- [1] Bissels S, Hölzel N, Donath T W, *et al.* Evaluation of restoration success in alluvial grasslands under contrasting flooding regimes. *Biological Conservation*, 2004, 118: 641—650.
- [2] Trebino H J, Chaneton E J, Leon R J. Flooding, topography, and successional age as determinants of species diversity in old-field vegetation. *Canadian Journal of Botany*, 1996, 74(4): 582—588.

- [3] Baskin C C, Baskin J M. Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination. Academic Press, San Diego. 1998. 11 — 14.
- [4] Jessica E P, Andrew H B. Seedling emergence from seed banks of tidal freshwater wetlands: response to inundation and sedimentation. Aquatic Botany, 2004, 78: 243 — 254.
- [5] Florentine S K, Westbrooke M E. Invasion of the noxious weed *Nicotiana glauca* R. Graham after an episodic flooding event in the arid zone of Australia. Journal of Arid Environments, 2005, 60(4): 531 — 545.
- [6] Connell J H. Diversity in tropical rainforests and coral reefs. Science, 1978, 199: 1302 — 1310.
- [7] Huston M A. A general hypothesis of species diversity. The American Naturalist, 1979, 113: 81 — 101.
- [8] Pollock M M, Naiman R J, Hanley T A. Plant species richness in riparian wetlands—a test of biodiversity theory. Ecology, 1998, 79: 94 — 105.
- [9] Lyon J, Sagers C L. Structure of herbaceous plant assemblages in a forested riparian landscape. Plant Ecology, 1998, 138: 1 — 16.
- [10] Nadia B. Relative contributions of sexual and asexual regeneration strategies in *Populus nigra* and *Salix alba* during the first years of establishment on a braided gravel bed river. Evolutionary Ecology, 2002, 15: 255 — 279.
- [11] Wang Z W, Zhu T C. The seedbank features and its relations to the established vegetation following flooding disturbance on Songnen Steppe. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(9): 1392 — 1398.
- [12] Wang Z W, Zhu T C. Responses of interspecific relationships among main herbaceous plants to flooding disturbance in Songnen Plain, Northeastern China. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(6): 892 — 896.
- [13] Wang Z W, Zhu T C, Zhang C L. Influences of flooding disturbance on the distribution patterns of three grass populations on the Songnen Steppe, northeastern China. Acta Agrestia Sinica, 2004, 12(1): 3 — 7.
- [14] Wang Z W, Xing F, Zhu T C, *et al.* The responses of functional group composition and species diversity of *Aneurolepidium Chinense* grassland to flooding disturbance on Songnen Plain, northeastern China. Acta Phytocologica Sinica, 2002, 26(6): 708 — 716.
- [15] Zhang B T, Yang Y F. Dynamics of communities on the restoring process of flooded disturbance in *Leymus chinensis* meadow of the Songnen plain in China. Acta Prataculturae Sinica, 2003, 12(2): 30 — 35.
- [16] Fu T F, Zeng B, Ye X Q, *et al.* The reproductive responses of *Arundinella hirta* individual to flooding. Journal of Southwest China Normal University (Natural Science), 2005, 30(2): 325 — 328.
- [17] Feng Q, Endo K N, Cheng G D. Towards sustainable development of the environmentally degraded arid rivers of China — a case study from Tarim river. Environment Geology, 2001, 41: 229 — 238.
- [18] Ma K P, Huang J H, Yu S L, *et al.* Plant community diversity in Dongling Mountain. Beijing, China II species richness, evenness and species diversities. Acta Ecologica Sinica, 1995, 15(3): 268 — 278.
- [19] Hao Z Q, Guo S L. Canonical correspondence analysis on relationship of herbs with their environments on northern slope of Changbai Mountain. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(10): 2000 — 2008.
- [20] Ferreira L V, Stohlgren T J. Effects of river level fluctuation on plant species richness, diversity and distribution in a floodplain forest in central Amazonia. Oecologia, 1999, 120: 582 — 587.
- [21] Bendix J, Hupp C R. Hydrological and geomorphological impacts on riparian plant communities. Hydrological Processes, 2000, 14: 2977 — 2990.

参考文献:

- [11] 王正文, 祝延成. 松嫩草地水淹干扰后的土壤种子库特征及其与植被关系. 生态学报, 2002, 22(9): 1392 ~ 1398.
- [12] 王正文, 祝延成. 松嫩草原主要草本植物种间关系及其对水淹干扰的响应. 应用生态学报, 2003, 14(6): 892 ~ 896.
- [13] 王正文, 祝延成, 臧传来. 水淹干扰对松嫩草原三种禾草种群分布格局的影响. 草业学报, 2004, 12(1): 3 ~ 7.
- [14] 王正文, 邢福, 祝延成, 等. 松嫩平原羊草草地植物功能群组成及多样性特征对水淹干扰的响应. 植物生态学报, 2002, 26(6): 708 ~ 716.
- [15] 张宝田, 杨允菲. 松嫩平原羊草草地水淹干扰恢复过程的群落动态. 草业学报, 2003, 12(2): 30 ~ 35.
- [16] 付天飞, 曾波, 叶小齐. 野古草对水淹逆境的生殖响应. 西南师范大学学报, 2005, 30(2): 325 ~ 328.
- [18] 马克平, 黄建辉, 于顺利, 等. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究 II. 丰富度、均匀度和物种多样性指数. 生态学报, 1995, 15(3): 268 ~ 278.
- [19] 郝占庆, 郭水良. 长白山北坡草本植物分布与环境关系的典范对应分析. 生态学报, 2003, 23(10): 2000 ~ 2008.

2005 年度总被引频次较高的 20 种期刊(1652 种期刊)★

(源于 2006 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation
1	科学通报	5828	11	电力系统自动化	3345
2	中国电机工程学报	5731	12	中国实用护理杂志	3323
3	应用生态学报	5270	13	中华外科杂志	3222
4	生态学报	5233	14	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3134
5	物理学报	5090	15	分析化学	3085
6	中华护理杂志	4411	16	中华医院感染学杂志	3045
7	高等学校化学学报	4063	17	中国现代医学杂志	2994
8	中国临床康复	3929	18	中华放射学杂志	2975
9	中华医学杂志	3792	19	中华儿科杂志	2909
10	中草药	3696	20	中国农业科学	2835

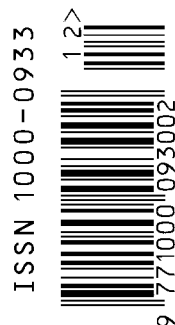
★《生态学报》2005 年在扩刊版的 6009 种期刊排序中影响因子 1.982 位居生物学科第 1; 总被引频次 6367 次位居生物学科第 1; 2002 ~ 2006 年连续 5 届入围中国百种杰出学术期刊

本期责任编辑 Responsible Editors 孔红梅 KONG Hong-Mei 尹 玲 YIN Ling 刘天星 LIU Tian-Xing

生态学报
(SHENGTAI XUEBAO)
(月刊 1981 年 3 月创刊)
第 27 卷 第 12 期 (2007 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Monthly, Started in 1981)
Vol. 27 No. 12 2007

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 Shengtaixuebao@sina.com	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010) 62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@mail.rcees.ac.cn Shengtaixuebao@sina.com
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Sponsored by	Ecological Society of China
主 办	中国生态学会 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		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 8083 号(1-1)		



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