

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

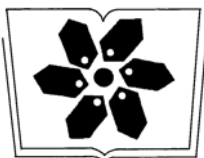
Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 21 期 Vol.33 No.21 **2013**

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 33 卷 第 21 期 2013 年 11 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 生态系统生产总值核算:概念、核算方法与案例研究..... 欧阳志云,朱春全,杨广斌,等 (6747)
- 气候变化对传染病爆发流行的影响研究进展..... 李国栋,张俊华,焦耿军,等 (6762)
- 好氧甲烷氧化菌生态学研究进展 负娟莉,王艳芬,张洪勋 (6774)
- 氮沉降强度和频率对羊草叶绿素含量的影响..... 张云海,何念鹏,张光明,等 (6786)
- 世界蜘蛛的分布格局及其多元相似性聚类分析..... 申效诚,张保石,张 锋,等 (6795)
- 风向因素对转基因抗虫棉花基因漂移效率的影响..... 朱家林,贺 娟,牛建群,等 (6803)

个体与基础生态

- 长江口及东海春季底栖硅藻、原生动物和小型底栖生物的生态特点 孟昭翠,徐奎栋 (6813)
- 长江口横沙东滩围垦潮滩内外大型底栖动物功能群研究..... 吕巍巍,马长安,余 骥,等 (6825)
- 沔阳沿岸土壤和优势植物重金属富集特征和潜在生态风险..... 杨 阳,周正朝,王欢欢,等 (6834)
- 盐分和底物对黄河三角洲区土壤有机碳分解与转化的影响..... 李 玲,仇少君,檀菲菲,等 (6844)
- 短期夜间低温胁迫对秋茄幼苗碳氮代谢及其相关酶活性的影响..... 郑春芳,刘伟成,陈少波,等 (6853)
- 32 个切花菊品种的耐低磷特性 刘 鹏,陈素梅,房伟民,等 (6863)
- 年龄和环境条件对泥蚶富集重金属镉和铜的影响..... 王召根,吴洪喜,陈肖肖,等 (6869)
- 角倍蚜虫瘿对盐肤木光合特性和总氮含量的影响..... 李 杨,杨子祥,陈晓鸣,等 (6876)
- 多噬伯克霍尔德氏菌 WS-FJ9 对草甘膦的降解特性 李冠喜,吴小芹,叶建仁 (6885)
- 金龟甲对蓖麻叶挥发物的触角电位和行为反应..... 李为争,杨 雷,申小卫,等 (6895)

种群、群落和生态系统

- 白洋淀生态系统健康评价..... 徐 菲,赵彦伟,杨志峰,等 (6904)
- 珠海鹤洲水道沿岸红树林湿地大型底栖动物群落特征 王 卉,钟 山,方展强 (6913)
- 典型森林和草地生态系统呼吸各组分间的相互关系..... 朱先进,于贵瑞,王秋凤,等 (6925)
- 抚育间伐对油松人工林下大型真菌的影响..... 陈 晓,白淑兰,刘 勇,等 (6935)
- 百山祖自然保护区植物群落 beta 多样性 谭珊珊,叶珍林,袁留斌,等 (6944)
- 土霉素对堆肥过程中酶活性和微生物群落代谢的影响..... 陈智学,谷 洁,高 华,等 (6957)

景观、区域和全球生态

- 兴安落叶松针叶解剖结构变化及其光合能力对气候变化的适应性 季子敬,全先奎,王传宽 (6967)
- 盐城海滨湿地景观演变关键土壤生态因子与阈值研究..... 张华兵,刘红玉,李玉凤,等 (6975)

半干旱区沙地芦苇对浅水位变化的生理生态响应 马赞花,张铜会,刘新平 (6984)

SWAT 模型融雪模块的改进 余文君,南卓铜,赵彦博,等 (6992)

科尔沁沙地湖泊消涨对气候变化的响应..... 常学礼,赵学勇,王 玮,等 (7002)

贝壳堤岛 3 种植被类型的土壤颗粒分形及水分生态特征..... 夏江宝,张淑勇,王荣荣,等 (7013)

三峡库区古夫河着生藻类叶绿素 a 的时空分布特征及其影响因素..... 吴述园,葛继稳,苗文杰,等 (7023)

资源与产业生态

煤炭开发对矿区植被扰动时空效应的图谱分析——以大同矿区为例..... 黄 翌,汪云甲,李效顺,等 (7035)

学术信息与动态

《中国当代生态学研究》新书推介 刘某承 (7044)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 300 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 30 * 2013-11



封面图说: 百山祖保护区森林植物群落——百山祖国家级自然保护区位于浙西南闽浙交界处,由福建武夷山向东北伸展而成,主峰海拔 1856.7m,为浙江省第二高峰。其独特的地形和水文地理环境形成了中亚热带气候区中一个特殊的区域,保存着十分丰富的植物种质资源以及国家重点保护野生动植物种,尤其是 1987 年由国际物种保护委员会列为世界最濒危的 12 种植物之一的百山祖冷杉,是第四纪冰川的孑遗植物,素有“活化石”之称。随着海拔的升高,其植被为常绿阔叶林、常绿-落叶阔叶混交林、针阔混交林、针叶林、山地矮林和山地灌草丛。

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/stxb201207090963

马赞花, 张铜会, 刘新平. 半干旱区沙地芦苇对浅水位变化的生理生态响应. 生态学报, 2013, 33(21): 6984-6991.

Ma Y H, Zhang T H, Liu X P. Eco-physiological response of *Phragmites communis* to water table changes in the Horqin Sand Land. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(21): 6984-6991.

半干旱区沙地芦苇对浅水位变化的生理生态响应

马赞花, 张铜会*, 刘新平

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000)

摘要:在半干旱区科尔沁沙地研究沙地芦苇生长发育对地下水位改变的响应。通过比较不同地下水位深度下沙地芦苇生态特征, 结果表明: 与对照相比, 0—200 cm 的水位条件更利于沙地芦苇的生长。但是这种生长特点随着水位深度不同而有所差异。具体表现为 40—120 cm 的水位条件下沙地芦苇的根冠比和垂直根长都随着水位深度的增加而逐渐增加, 当地下水位大于 120 cm 时根冠比的趋势则相反; 根长密度值则表现出在 0—120 cm 水位条件下的要大于 120—200 cm 水位条件下的; 而 40 cm 的浅水位表现出了对沙地芦苇生长的抑制作用, 即在这种水位条件下会抑制沙地芦苇的蒸腾光合作用、减小叶面积的增长, 但是其最终的株高叶面积及生物量仍表现出优于对照的生长状况。

关键词:科尔沁沙地; 地下水位; 沙地芦苇; 马氏瓶; 生理生态特征

Eco-physiological response of *Phragmites communis* to water table changes in the Horqin Sand Land

MA Yunhua, ZHANG Tonghui*, LIU Xinping

Cold and Arid Regions of Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

Abstract: This study examines growth responses of *Phragmites communis* to controlled changes in the water table in the semiarid areas of the Horqin Sand Land. Water table level treatments were a natural control which the water table is deeper than 200 centimeters, 40 centimeters, 80 centimeters, 120 centimeters and 180 centimeters below the soil surface. We found that the water table between 0—200 centimeter was more advantageous for *Phragmites* to grow than natural control. And also we found significantly different growing characteristics of *Phragmites communis* with the different water table depths. The root-shoot ratio and the vertical root length increased gradually as the water table decreased from 40—120 cm, whereas the root-shoot ratio increased below a water table of 120 cm. The root density of the *Phragmites communis* was higher at water tables of 0—120 cm than at water tables of 120—200 cm. At shallow water tables above 40 cm depth, although rates of transpiration and photosynthesis of *Phragmites communis* was inhibited, however plant height, leaf area and biomass of the *Phragmites communis* at shallow water was higher than that at natural control.

Key Words: Horqin Sand Land; water table; *Phragmites communis*; Marriott glasses; characteristics of photosynthesis and transpiration

地下水是干旱区植被生存所依赖的最为重要的水分来源, 地下水位改变对植物叶面积、生物量、蒸腾速率、净光合速率等生理特征会产生很大影响, 如赵明^[1]等研究表明荒漠区 2 年生植物蒸腾量随地下水位的下

基金项目: 973 项目课题资助项目 (2009CB421303); 国家科技支撑项目课题资助项目 (2011BAC07B02); 中国科学院战略性先导科技专项子专题 (XDA05050201-04-01); 国家自然科学基金 (41371053)

收稿日期: 2012-07-09; **修订日期:** 2013-03-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhangth@lzb.ac.cn

降而降低。Horton^[2-3]等指出在半干旱区植被的净光合速率在干旱年份均随着地下水位的下降而下降。地下水位的改变同时会直接影响植物地上部分及地下根系的结构与功能从而影响植被的生长分布甚至群落演替。国内外一些学者已经开展了大量有关地下水变化和天然植被关系的研究^[4-5],如干旱区生物过程微弱,生物生态系统规模小、稳定性低,地下水的变化会直接影响天然植被的生长发育。因为随水位的下降,土壤含水量也随毛管水的补给减少而下降,从而导致土壤的有效含水量不能满足植物的生理需要。在科尔沁沙地,近二三十年来,由于人类活动加剧、气候干旱,该地区大面积沙化,出现了河流断流、湖泊萎缩甚至消失,引起了地下水位下降等一系列生态环境问题^[6-8]。而沙地芦苇(*Phragmites communis*)作为干旱区特有的旱生型芦苇,属根茎型禾草,由于其广泛的适应性,根系结构和生理生态方面在干旱的沙地生境中都已经发生了深刻的变异,其强大的地下根系在减少沙尘暴、保护绿洲农田、改良盐碱地、防护沙漠公路有着其他干旱区植被不可替代的生态作用^[9]。但是目前有关地下水位的改变对沙地芦苇影响的研究仍相对缺乏。

由于多年生芦苇在沙地生态系统中的根系分布通常较深,在自然条件下定量研究地下水埋深对芦苇的影响存在一定难度,但通过人工控制试验,可以有效的探讨沙地芦苇对地下水位的生理生态特征响应机制。因此,本研究以科尔沁沙地芦苇为研究对象,通过人工控制试验,探讨沙地芦苇的生理生态变化及对浅层地下水位变化的响应机制。

1 材料与方法

1.1 试验区概况^[10]

本试验在中国科学院寒区与旱区环境与工程研究所科尔沁沙地奈曼沙漠化研究站的农田综合水分试验场(42°54'N, 120°41'E)进行。科尔沁沙地位于内蒙古自治区东部,属于半干旱大陆性季风气候区,春季干旱多风,年均气温 6.5℃,1 月平均气温-13.1℃,极端最低气温-29.7℃,7 月平均气温 23.6℃,极端最高气温 39.0℃,≥10℃年积温 3218℃,无霜期 151 d,多年平均降水量在 360 mm 左右,年均蒸发量 1935.4 mm。年均日照 2951.2 h,年均风速 3.5—4.5 m/s,其中 4—5 月平均风速可达 5.0—6.0 m/s。

1.2 实验设计

本试验主要观察研究芦苇在不同的浅层地下水位条件下的生长发育状况。考虑到实际可操作性和当地芦苇的生长特性,地下水位共设计了 40、80、120、180 cm 和对照 CK 5 个处理,每个处理 3 个重复。试验均在直径为 30 cm 的 PVC 桶中进行,前 4 个试验处理的 PVC 桶是封底的,对照 CK 的 PVC 桶则不封底。2011 年 4 月开始准备试验。第一步先将高度分别为 0.6、1、1.4、2 m 试验桶以及每行相应的对照 PVC 桶埋入地下。第二步将试验桶中装入直径大于 10 mm 的石子,厚度为 10 cm,再将直径大于 2 mm 的粗沙铺到石子上面,厚度也为 10 cm,这样就可桶底形成 20 cm 的自由水面层。最后将原状固定沙丘土回填到桶中。第三步选择固定沙丘上长势一致的成年沙地芦苇,挖取带芽根系,选直径约为 5 mm,长度为 15 cm 且带两个芽的根茎剪下来,植种在实验桶中。在初期将所有栽种的芦苇浇适量的水并记录浇水量,待芽将土面顶出裂缝即芦苇成活为止。第四步在需要控制水位的试验桶上安装简易的马氏瓶装置控制水位并记录人为加水量。对照则不安装控制水位装置。控制水位的 PVC 桶里的土壤既可接受来自天然降水的水分,也可接受由马氏瓶装置模拟提供的不同深度的地下水的水分;对照的 PVC 桶则只能接受来自天然降水的水分。因为实验区周围的地下水位约为 7.34 m,基本可以认定本实验中的芦苇在自然状态是不可能利用到地下水的。

1.3 数据获取和计算

选取沙地芦苇光合呼吸等生理特征参数较稳定且其生物量基本达到峰值的 8 月中下旬进行株高、地上生物量、叶面积、根系的调查以及用 LI-6400 测定叶片的光合和蒸腾速率。用叶面积仪测量单株叶面积。用 TRIME-FM-P3(IMKO Micromoduletechnik, Ettlingen, Germany)便携式土壤水分测量仪监测芦苇生长期间的土壤表层 0—15 cm 的土壤体积含水量动态。

用全挖法测定地下生物量和垂直根系的长度。具体方法为是先进进行植株高度测量,然后剪去地上部分以备叶面积等指标。然后用尖头铁铲从 PVC 桶的桶壁向中间的芦苇根部挖取,尽量不要损伤根系,若有散断的

根系全部从挖出的土中将挑出,沿着桶壁每 20 cm 为一层逐层挖取直到无根系出现为止,洗净后将直径大于 2 mm 的粗根与直径小于 2 mm 的细根分开,分别测量其长度。

在本研究中生物量以每个实验桶中生产的所有干重来表示。所有生物量在 80 ℃,烘干 48 h 后称重。

根冠比、根长密度的计算。根长密度是指单位体积土壤中根系的长度,本实验中根长密度用每立方米土壤中根长的米数来表示。

1.4 统计分析方法

用 Excel 软件对数据整理和初步分析,采用 SPSS17.0 统计分析软件包对数据进行 One-way ANOVA 方差分析、相关分析,并用 LSD 法进行多重比较株高、叶面积、生物量、根长密度、光合蒸腾速率各指标在处理间的差异。

2 结果与分析

2.1 不同地下水位下 0—15 cm 表层土壤的体积含水量

在芦苇生长期用 TRIME-PICO TDR 便携式土壤水分测量仪测量不同地下水位深度条件下 0—15 cm 表层土壤的体积含水量,所得结果动态曲线图 1 所示。

由下图的监测结果可知,0—15 cm 表层土壤的体积含水量与地下水位深度成反比,即地下水位越浅,表层的土壤含水量越大,反之越小。图 1 中地下水位为 40 cm 条件下,在芦苇的整个生长期表层土壤含水量几乎都处于饱和状态而不会由于受降水的影响有的波动,而当地下水位为 80、120 cm 条件下时,表层土壤含水量由于受降水的影响都出现了较小的波动,且在地下水位增加到 180 cm 和 CK 时,即随着地下水位深度的增加,表层土壤含水量由于受降水的影响出现的波动也随着变大。这种变化必然会引起沙地芦苇的生理生态特征在新环境中表现出一定的适应性。

2.2 不同地下水位下沙地芦苇生态统计特征。

2.2.1 不同地下水位下沙地芦苇的株高、叶面积

地下水位变化影响着土壤水分,而土壤水分一直是沙地芦苇生长发育的限制因素,因此地下水位的变化会影响到沙地芦苇的植株高度。如图 2 所示各处理间的沙地芦苇植株高度都表现出显著差异。植株高度表现出随地下水位降低先增加后减小的变化趋势。其中地下水位在 80 cm 时植株的高度最高为 92.92 cm,而最低值 51.42 cm 出现在对照,其余都处于这二者之间。即株高从地下水位为 40 cm 逐渐增加到 80 cm 时达到峰值,之后随着水位的降低株高也逐渐减小并在对照水位的情况下呈现出最小值。比起对照,200 cm 以下的水位条件更利于沙地芦苇的株高的增长,且在 80 cm 时植株高度最大。

图 2 中还显示出不同地下水位下沙地芦苇植株叶面积在水位为 120 cm 时最大,其它水位条件下芦苇单株叶面积均有所减小且差异显著。即在水位小于 120 cm 时,沙地芦苇的植株叶面积会随着水位的变浅而减小,这种适应性与土壤水分近似饱和的环境有关,而当水位深于 120 cm 时,芦苇的植株叶面积会随着水位深度的增加而减小,这是由于地下水位的下降使得土壤从地下水得到供给的减少,从而影响到地上部分叶面积的增长。

2.2.2 不同地下水位下沙地芦苇地上与地下生物量

不同地下水位对沙地芦苇地上与地下生物量与根冠比的影响见图 3。从图中可看出沙地芦苇地上与地下部分的生物量均在地下水位为 120 cm 时最大,而较浅水位(40, 80 cm)和较深水位条件(180 cm, CK)芦苇

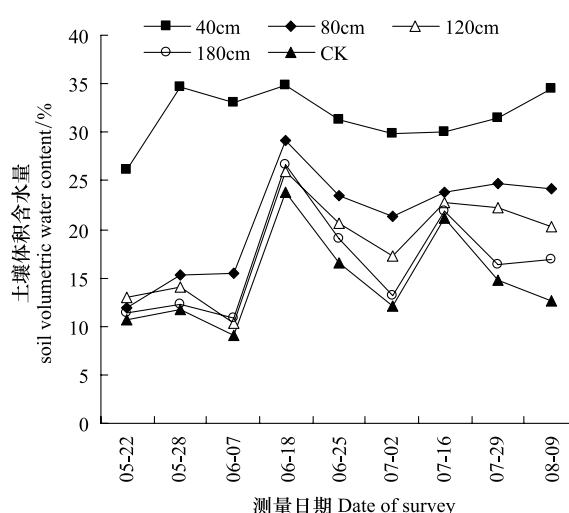


图 1 不同地下水位条件下 0—15cm 表层土壤的体积含水量
Fig.1 The soil volumetric water content of the 0—15cm topsoil at different water tables

的生物量的积累都会减小且差异显著。这说明地下水位的变化影响了沙地芦苇的生物量的积累。当水位较深时,不论是地上部分还是地下根系的生物量都会随着水位的增加而减小。如对照的沙地芦苇生物量积累小于浅水位(40 cm)条件下的积累量,这说明在本实验中栽种第1年的芦苇根系在深水位的干旱胁迫下,比起浅水位下的水涝胁迫,更会影响到生物量的积累,从生态学的角度讲,沙地芦苇是典型的浅水植物在干旱地区后适应的生态类型^[11],本实验中的沙地芦苇对水涝胁迫表现出了比在干旱胁迫中更强的适应性。

图3还显示了不同地下水位下沙地芦苇的根冠比,在水位为40 cm时,沙地芦苇的根冠比最小为1.23,地下水位在40 cm到120 cm之间时随着水位深度的增加,根冠比逐渐增加,而当水位大于120 cm时随着水位深度的增加,根冠比又会逐渐减小,这说明地下水位的变化影响了干物质的分配比例。对照沙地芦苇的根冠比大于浅水位(40 cm)条件下的根冠比,这说明在深水位的干旱胁迫条件下分配到地下根系的生物量比例要大于在浅水位条件下的分配量。

2.3 不同地下水位下沙地芦苇粗根与细根的长度、根长密度。

图4显示,当水位在80 cm与120 cm时,沙地芦苇整株的粗、细根的长度均较长,粗根总根长可达到8.5 m以上,细根总根长可达34.2 m。而其它水位条件下的细根总根长则达不到这个长度,说明地下水位的深度影响了根系的长度。而且地下水位深度还会影响到芦苇根系的分布状况,通常用根长密度来表示。沙地芦苇粗根和细根的根长密度在地下水位为80 cm时最大,密度分别为156.76 m/m³和605.10 m/m³,而其最低值21.76 m/m³和14.86 m/m³均出现在对照中,其余都处于这二者之间(图4)。不论是粗根还是细根,沙地芦苇的根长密度表现出随地下水位降低先增加后减小的变化趋势。

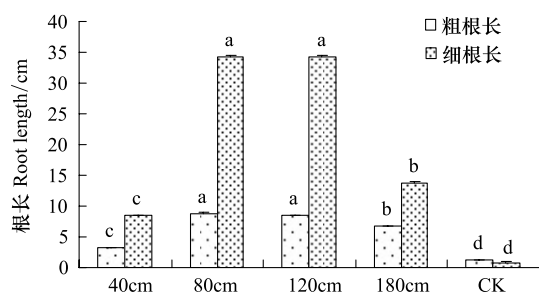


图4 不同地下水位条件下芦苇粗根的长度与根长密度

Fig.4 The length of thick roots and fine roots and root long density at different water tables

2.4 不同地下水位下沙地芦苇的光合生理指标。

图5为不同地下水位下沙地芦苇叶片的光合速率和蒸腾速率,图中显示地下水位在80—180cm时的沙地

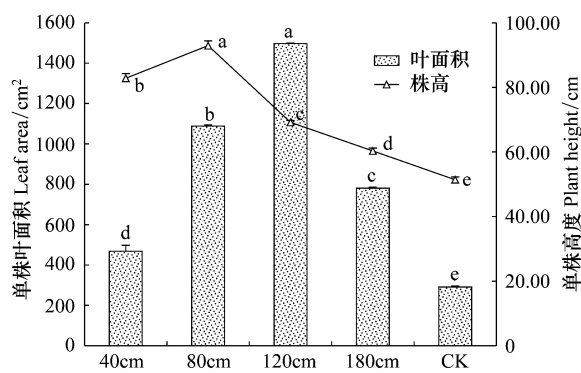


图2 不同地下水位条件下芦苇的植株高度与单株叶面积

Fig.2 The plant height and Leaf Area at different water tables

横坐标的40、80、120、180 cm为人工控制的地下水位的深度,CK为对照;同一变量字母a、b、c、d、e的不同表示该变量在0.05水平上有显著差异

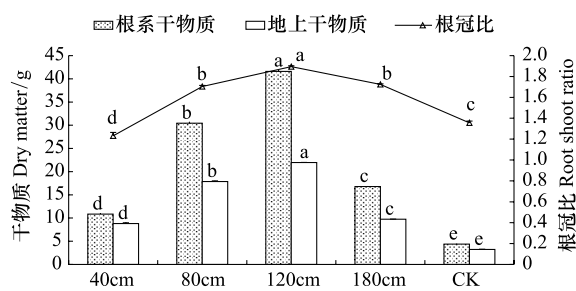
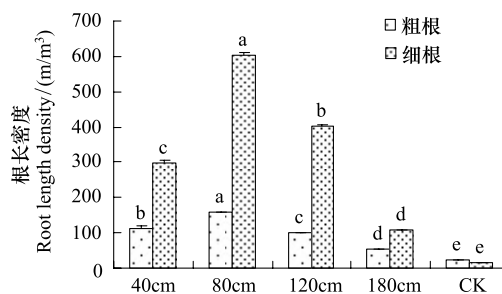


图3 不同地下水位条件下芦苇的生物量

Fig.3 The changes of the Phragmites biomass at different water table



芦苇的光合速率较高且相互无显著差异,而在浅水位 40 cm 与对照时沙地芦苇的光合速率均小于以上水位下的光合速率且无显著差异。说明地下水位在 80—180 cm 时,最适合沙地芦苇生长,其光合作用可以维持较高速率,有利于干物质的积累;浅水位 40 cm 的条件虽然向沙地芦苇提供了足够的水分,但此时反而抑制了光合作用;而在对照干旱的条件下的叶片光合速率也较小。图 5 中所显示的不同地下水位下沙地芦苇蒸腾速率的变化趋势与光合速率相似,在浅水位 40 cm 时,沙地芦苇蒸腾速率也小于其它水位水平下的蒸腾速率。这与图 6 中显示不同地下水位下沙地芦苇的气孔导度和胞间 CO_2 浓度变化趋势相呼应,即在浅水位 40 cm 下沙地芦苇叶片气孔导度和胞间 CO_2 浓度最小,在 80 cm、120 cm、180 cm 水位条件下时大于在 40 cm 水位条件下的气孔导度和胞间 CO_2 浓度但三者之间无显著差异,而对照的气孔导度和胞间 CO_2 浓度则小于这三者且有显著差异而大于在 40 cm 浅水为条件下的值。

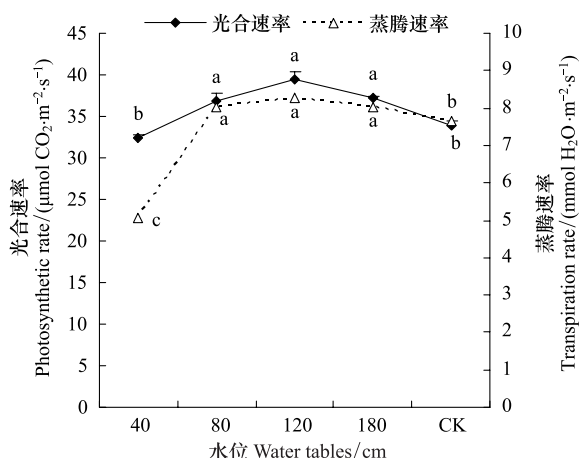


图 5 不同地下水位条件下芦苇的光合速率和蒸腾速率

Fig. 5 The photosynthetic rate and transpiration rate at different water tables

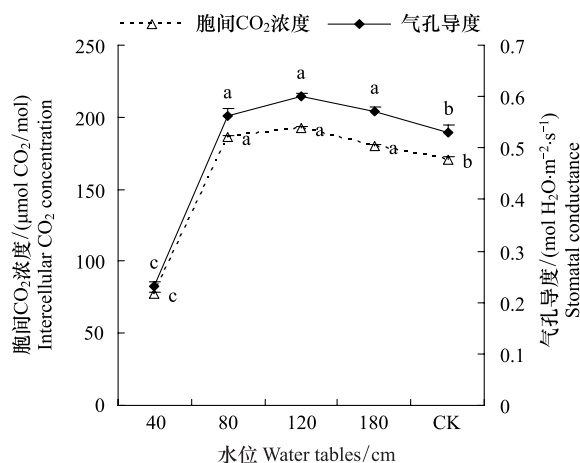


图 6 不同地下水位条件下芦苇的胞间 CO_2 浓度和气孔导度

Fig. 6 The intercellular CO_2 concentration and stomatal conductance at different water tables

3 讨论

3.1 地下水位的变化对沙地芦苇形态特征的影响

芦苇本是一种典型的浅水植物,但因生境条件的差异,使得其生长和生产具有较大的生态可塑性^[12]。在本实验中沙地芦苇的形态特征受地下水位的影响表现出了其强大的适应性。

首先,植株高度与叶面积均表现出随地下水位降低先增加后减小的趋势,植株高度在地下水位为 80 cm 时达到峰值。植株叶面积在 120 cm 时达到峰值。比起对照自然水位条件下,200 cm 以下的水位条件更利于沙地芦苇的株高和叶面积的增长。但是在 40 cm 的浅水位条件下,表现出了浅水位对沙地芦苇的一定的抑制作用,这是因为在 40 cm 浅水位条件下,土壤水分近似饱和的状态下,根系缺氧导致叶片的气孔关闭,继而影响光合相关酶类的活性与此同时叶绿素合成能力下降最后导致绿色面积减少从而影响了地上叶片部分的发育,因此在本实验中低水位不仅不会促进沙地芦苇植株叶面积的增加反而会抑制其增长^[13]。即使在浅水位条件下受到了抑制,沙地芦苇还是表现出了比在干旱条件下更为强大的适应性,在 40 cm 时的水位下沙地芦苇的高度和叶面积仍然要优于在自然水位情况下的生长状况,由此可见较浅水位条件下更利于沙地芦苇的株高的增长。这与张潇予和苏芳莉等^[14]的研究结果类似,他们发现地下水位埋深在小于 40 cm 时,地下水埋深越浅,芦苇植株生长越高。

其次,地下水位的变化也影响了沙地芦苇的生物量的积累与分配。当水位大于 120 cm 时,不论是地上部分还是地下根系的生物量都会随着水位的增加而减小,这说明比起浅水的水涝胁迫,较深水位的干旱胁迫更会影响到生物量的积累。这与在赵智智,常学礼等的研究^[15]结果类似而具体的变化特点不同,他们发现芦苇种群地上生物量与地下水埋深的关系是随地下水埋深的增加而增加,变化特点为当在地下水埋深小于 150 cm

时,生物量的变化不明显,当地下水埋深大于 150 cm 时呈波动式增加。

再次,地下水位的变化还影响了沙地芦苇的根冠比。本实验中沙地芦苇生物量分配表现为当地下水位在 40 cm 到 120 cm 之间时随着水位深度的增加,根冠比逐渐增加,而当水位大于 120 cm 时随着水位深度的增加,根冠比又会逐渐减小。这与赵文智,常学礼等^[15]的研究结果相似,他们发现随着地下水埋深的增加芦苇种群的生长优势逐渐从地下转到地上,地上生物量所占比重逐渐增加。

最后,地下水位的变化也影响了沙地芦苇粗、细根的长度和根长密度。本实验中当水位在 80 cm 与 120 cm 时,沙地芦苇整株的粗、细根的长度最长,而且粗、细根的根长密度在地下水位为 80 cm 时最大。而当地下水位在浅水位 40 cm 时的沙地芦苇粗、细根的根长密度均大于 180 cm 和 CK 时的,这是因为在浅水位时水分比较容易吸收,土壤输水距离缩短,增加吸水表面,所以其根长密度大;在较深水位时,土壤输水距离变长,此时芦苇根系表现出了向水性^[4],为了寻找水源,致力于下扎垂直根系的生长,减小了根系表面积,沙地芦苇的根长密度就会减小。实际上由相关分析可知沙地芦苇的垂直根长与地下水位深度极显著正相关(0.945^{**})而与根长密度呈显著负相关(-0.601^{*})。此外由图 4 中的 b 图中显示,在地下水位在能够利用的情况下,沙地芦苇细根的根长密度要大于粗根的根长密度,实际上由相关性分析可知,沙地芦苇的根长密度与细根长极显著正相关(0.727^{**}),而与粗根长度不相关(0.458),这与以前的研究结果类似^[16-17],根系中最活跃 < 2 mm 的细根的部分其形态特征直接与根系的功能特征相关,进一步会关系到生态系统的能量流动和物质循环过程^[18-19]。

此外,本研究的结果地下水位深度与粗根长相关但不显著(相关系数为 0.43)而与细根长几乎不相关(相关系数为 0.05)。这是因为直径大于 2 mm 的粗根是沙地芦苇的垂直生长的根系,主要是向水性的作用^[4],随着地下水位深度越深,沙地芦苇的垂直根长越长,而沙地芦苇的根长密度与直径小于 2 mm 的细根呈极显著正相关,而与粗根长度不相关,说明根长密度主要由细根长决定,而根长密度的大小则会影响到植物吸收土壤中的水分和养分^[20-21]。在以往的研究中发现植物根系通过调节直径的大小表现出对环境的适应性^[18-22],同一植物根系直径大小不同,其生理功能存在差异^[23]。本实验中不同地下水位下沙地芦苇粗细根的长度、比例及其功能表现再次验证了以上研究结论。

3.2 地下水位的改变对科尔沁沙丘芦苇光合生理指标的影响

本实验中在浅水位 40 cm 条件下,土壤水分始终处于过饱和状态,虽然提供了足够的水分,但根系处于水涝状态。这种胁迫条件下在刘永贤,曾祥难等^[24]在烟草叶片的研究中表现出的适应性就是气孔关闭,使得气孔导度下降。同时气孔还是二氧化碳进入植物体、水蒸汽逸出植物体的通道,气孔关闭导致蒸腾速率下降,进一步影响光合效率。在本实验中沙地芦苇也表现出相似的适应性。在本研究中,一方面因为水淹作用,导致土壤缺氧,限制了根系的呼吸作用,从而影响到植株的整体生长发育以及叶片的光合作用。另一方面由于水涝的胁迫作用,导致沙地芦苇的叶片通过减小气孔导度,降低胞间 CO_2 浓度,抑制沙地芦苇的蒸腾速率,同时还会抑制叶面积的增长。而在对照条件下土壤由于受地下水位的限制影响了土壤含水量,而水作为光合作用的原料之一,当其供应不足时,也直接导致光合速率的降低^[25]。光合速率对气孔导度具有指示调节作用,光合作用处于优势时,气孔导度增大,劣势时气孔导度减小^[26-27]。

上述理由虽然能够解释本实验出现的这种现象,但是由于本研究中沙地芦苇的光合蒸腾指标是在芦苇的生殖生长期测量的一个瞬时值,所以地下水位的深度的改变是否总是令沙地芦苇的光合蒸腾一系列指标出现相似的反应趋势,还有待于进一步的试验和验证。

References:

- [1] Zhao M, Guo Z Z, Wang Y L, Li A D, Zhang D K, Jia B Q. Study on the transpiration characteristics of 10 species of plants under the different depths of groundwater level. *Arid Zone Research*, 2003, 20(4): 286-291.
- [2] Horton J L, Kolb T E, Hart S C. Responses of riparian trees to interannual variation in ground water depth in a semi-arid river basin. *Plant Cell and Environment*, 2001, 24(4): 293-304.

- [3] Horton J L, Kolb T E, Hart S C. Physiologic response to ground water depth varies among species and with river flow regulation. *Ecological Applications*, 2001, 11(4): 1046-1059.
- [4] Chen Y, Li W H, Xu H L, Liu J Z, Zhang H F, Chen Y P. The influence of Groundwater on Vegetation in the Lower Reaches of Tarim River, China. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(4): 542-549.
- [5] Barid A J, Robert L. *Eco-Hydrology: Plants and Water in Terrestrial and Aquatic Environments*. USA, Canada: Routledge, 1999: 401-403.
- [6] Zhu Z D, Chen G T. *Land Sandy Desertification in China*. Beijing: Science Press, 1994: 46-59.
- [7] Zhao H L, Zhao X. The ecological environment degradation and its control in the semi-drought region of Northern China. *Arid Zone Research*, 1993, 10(4): 44-48.
- [8] Liu X M, Zhao H L, Zhao A F. *Wind-sandy Environment and Vegetation in the Horqin Sandy Land, China*. Beijing: Science Press, 1996: 24-30.
- [9] He Y H, Zhao H L, Liu X P, Zhao X Y. Growth characteristics of phragmites australis in typical habitats of Horqin sandy land. *Journal of Desert Research*, 2009, 29(2): 288-292.
- [10] Zhao X Y, Zhang C M, Zuo X A, Huang G, Huang Y X, Luo Y Y, Wang S K, Qu H. Challenge to the desertification reversion in Horqin Sandy Land. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(7): 1559-1564.
- [11] Liu M Z, Nurbay · Abdusalih, Jiang L, Pan X L. Study on utilizations of the wildtype reed in Xinjiang. *Journal of Agricultural Sciences*, 2005, 26(1): 76-79.
- [12] Yang Y F, Lang H Q. A study of population regulation of *Phragmites communis* as a *Clonal plant* in different ecological conditions. *Acta Pratacultural Science*, 1998, 7(2): 1-9.
- [13] Li R P, Wang J B. *Plant Adversity Cells and Physiology*. Wuhan: Wuhan University Press, 2002: 53-70.
- [14] Zhang X Y, Su F L, Wang L Y, Wang T L. Influence of groundwater depth on reeds budding and growth. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2009, 28(3): 116-117.
- [15] Zhao W Z, Chang X L, Li Q S, He Z B. Relationship between structural component biomass of reed population and ground water depth in desert oasis. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(6): 1138-1146.
- [16] Mei L, Wang Z Q, Han Y Z, Gu J C, Wang X R, Cheng Y H, Zhang X J. Distribution patterns of *Fraxinus mandshurica* root biomass, specific root length and root length density. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(1): 1-4.
- [17] Caldwell M M, Pearcy R W. *Exploitation of environmental heterogeneity by plants: Ecophysiological processes above-and below-ground*. San Diego: Academic Press, 1994: 325-347.
- [18] Eissenstat D M, Wells C E, Yanai R D, Whitbeck J L. Building roots in a changing environment: implications for root longevity. *New Phytologist*, 2000, 147(1): 33-42.
- [19] Pregitzer K S, DeForest J L, Burton A J, Allen M F, Ruess R W, Hendrick R L. Fine root architecture of nine north American trees. *Ecological Monographs*, 2002, 72(2): 293-309.
- [20] Hendrick R L, Pregitzer K S. Temporal and depth-related patterns of fine root dynamics in northern hardwood forests. *Journal of Ecology*, 1996, 84(2): 167-176.
- [22] Schmid I, Kazda M. Clustered root distribution in mature stands of *Fagus sylvatica* and *Picea abies*. *Oecologia*, 2005, 144(1): 25-31.
- [21] Forde B G, Lorenzo H. The nutritional control of root development. *Plant and Soil*, 2001, 232(1/2): 51-68.
- [23] Wang X R, Wang Z Q, Han Y Z, Gu J C, Guo D L, Mei L. Variations of fine root diameter with root order in *Manchurian ash* and *Dahurian larch* plantations. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(6): 871-877.
- [24] Liu Y X, Zeng X N, Zhou X, Nong M L, Ou Q H. Research progress of flood menace's impact on tobacco's physiological and biochemical characters. *Journal of Guangxi Agriculture*, 2007, 22(1): 32-38.
- [25] Zhu J J, Kang H Z, Li Z H, Wang G C, Zhang R S. Impact of water stress on survival and photosynthesis of Mongolian pine seedlings on sandy land. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(10): 2527-2533.
- [26] Chen M S, Ke S S, Ni Q Q. Diurnal variation of net photosynthetic rate and ecological factors of *Viburnum odoratissimum* in the field. *Journal of Sichuan Normal University: Natural Science*, 2004, 27(3): 298-302.
- [27] Tao J, Chen P, She X D. Studies on the photosynthetic characteristics of Ginkgo. *Acta Horticulturae Sinica*, 1999, 26(3): 157-160.

参考文献:

- [1] 赵明, 郭志中, 王耀琳, 李爱德, 张德魁, 贾宝全. 不同地下水位植物蒸腾耗水特性研究. *干旱区研究*, 2003, 20(4): 286-291.
- [4] 陈亚宁, 李卫红, 徐海量, 刘加珍, 张宏峰, 陈亚鹏. 塔里木河下游地下水位对植被的影响. *地理学报*, 2003, 58(4): 542-549.
- [6] 朱震达, 陈广庭. *中国土地沙质荒漠化*. 北京: 科学出版社, 1994: 46-59.
- [7] 赵哈林, 赵雪. 中国北方半干旱地区生态环境的退化及其防治. *干旱区研究*, 1993, 10(4): 44-48.

- [8] 刘新民, 赵哈林, 赵爱芬. 科尔沁沙地风沙环境与植被. 北京: 科学出版社, 1996: 24-30.
- [9] 何玉慧, 赵哈林, 刘新平, 赵学勇. 科尔沁沙地典型生境下芦苇的生长特征分析. 中国沙漠, 2009, 29(2): 288-292.
- [10] 赵学勇, 张春明, 左小安, 黄刚, 黄迎新, 罗亚勇, 王少昆, 曲浩. 科尔沁沙地沙漠化土地恢复面临的挑战. 应用生态学报, 2009, 20(7): 1559-1664.
- [11] 刘明智, 努尔巴衣, 阿布都沙力克, 江凌, 潘晓玲. 新疆野生植物资源芦苇多用化研究. 农业科学研究, 2005, 26(1): 76-79.
- [12] 杨允菲, 郎惠卿. 不同生态条件下芦苇无性系种群调节分析. 草业学报, 1998, 7(2): 1-9.
- [13] 利容干, 王建波. 植物逆境细胞及生理学. 武汉: 武汉大学出版社, 2002: 53-70.
- [14] 张潇予, 苏芳莉, 王立业, 王铁良. 地下水埋深对芦苇出苗及苗期生长发育的影响. 灌溉排水学报, 2009, 28(3): 116-117.
- [15] 赵文智, 常学礼, 李启森, 何志斌. 荒漠绿洲区芦苇种群构件生物量与地下水埋深关系. 生态学报, 2003, 23(6): 1138-1146.
- [16] 梅莉, 王政权, 韩有志, 古加存, 王向荣, 程云环, 张秀娟. 水曲柳根系生物量、比根长和根长密度的分布格局. 应用生态学报, 2006, 17(1): 1-4.
- [23] 王向荣, 王政权, 韩有志, 谷加存, 郭大立, 梅莉. 水曲柳和落叶松不同根序之间细根直径的变异研究. 植物生态学报, 2005, 29(6): 871-877.
- [24] 刘永贤, 曾祥难, 周晓, 农梦玲, 欧清华. 水涝胁迫对烟草生理生化特征影响的研究进展. 广西农学报, 2007, 22(1): 32-38.
- [25] 朱教君, 康宏樟, 李智辉, 王国臣, 张日升. 水分胁迫对不同年龄沙地樟子松幼苗存活与光合特性影响. 生态学报, 2005, 25(10): 2527-2533.
- [26] 陈模舜, 柯世省, 倪琼琼. 田间珊瑚树净光合速率及生态因子的日变化. 四川师范大学学报: 自然科学版, 2004, 27(3): 298-302.
- [27] 陶俊, 陈鹏, 余旭东. 银杏光合特性的研究. 园艺学报, 1999, 26(3): 157-160.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.21 Nov., 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Gross ecosystem product: theory framework and case study OUYANG Zhiyun, ZHU Chunquan, YANG Guangbin, et al (6747)
- Advances in impacts of climate change on infectious diseases outbreak LI Guodong, ZHANG Junhua, JIAO Gengjun, et al (6762)
- Ecology of aerobic methane oxidizing bacteria (methanotrophs) YUN Juanli, WANG Yanfen, ZHANG Hongxun (6774)
- Nitrogen deposition and *Leymus chinensis* leaf chlorophyll content in Inner Mongolian grassland
..... ZHANG Yunhai, HE Nianpeng, ZHANG Guangming, et al (6786)
- Worldwide distribution and multivariate similarity clustering analysis of spiders
..... SHEN Xiaocheng, ZHANG Baoshi, ZHANG Feng, et al (6795)
- The influence of wind direction on pollen-mediated gene flow in transgenic insect-resistant cotton
..... ZHU Jialin, HE Juan, NIU Jianqun, et al (6803)

Autecology & Fundamentals

- Ecological characteristics of benthic diatoms, protozoa and meiobenthos in the sediments of the Changjiang Estuary and East China
Sea in spring MENG Zhaoxui, XU Kuidong (6813)
- Macrobenthic functional groups at the reclamation and natural tidal flats of Hengsha East Shoal, the Estuary of Changjiang River
..... LV Weiwei, MA Chang'an, YU Ji, et al (6825)
- Enrichment and ecological risk of heavy metal in soils and dominant plants in the riparian of the Fenghe River
..... YANG Yang, ZHOU Zhengchao, WANG Huanhuan, et al (6834)
- Effects of salinity and exogenous substrates on the decomposition and transformation of soil organic carbon in the Yellow River
Delta LI Ling, QIU Shaojun, TAN Feifei, et al (6844)
- Effects of short-term dark chilling on leaves carbon and nitrogen metabolism and involved activities of enzymes in mangrove *Kandelia
obovata* seedling ZHENG Chunfang, LIU Weicheng, CHEN Shaobo, et al (6853)
- Preliminary evaluation on tolerance to phosphorous deficiency of 32 cultivars of cut chrysanthemum
..... LIU Peng, CHEN Sumei, FANG Weimin, et al (6863)
- Effects of age and environmental conditions on accumulation of heavy-metals Cd and Cu in *Tegillarca granosa*
..... WANG Zhaoen, WU Hongxi, CHEN Xiaoxiao, et al (6869)
- Effects of Chinese gallnut on photosynthetic characteristics and total nitrogen content of *Rhus chinensis*
..... LI Yang, YANG Zixiang, CHEN Xiaoming, et al (6876)
- The characterization of glyphosate degradation by *Burkholderia multivorans* WS-FJ9 LI Guanxi, WU Xiaoqin, YE Jianren (6885)
- Electroantennographic and behavioural responses of scarab beetles to *Ricinus communis* leaf volatiles
..... LI Weizheng, YANG Lei, SHEN Xiaowei, et al (6895)

Population, Community and Ecosystem

- Ecosystem health assessment in Baiyangdian Lake XU Fei, ZHAO Yanwei, YANG Zhifeng, et al (6904)
- Characteristics of macrobenthic communities in mangrove wetlands along the waterways of North Hezhou, Zhuhai, South China
..... WANG Hui, ZHONG Shan, FANG Zhanqiang (6913)
- The interaction between components of ecosystem respiration in typical forest and grassland ecosystems
..... ZHU Xianjin, YU Guirui, WANG Qiufeng, et al (6925)
- Effects of thinning on macro fungi and their relationship with litter decomposition in *Pinus tabulaeformis* plantations
..... CHEN Xiao, BAI Shulan, LIU Yong, et al (6935)

- Beta diversity of plant communities in Baishanzu Nature Reserve TAN Shanshan, YE Zhenlin, YUAN Liubin, et al (6944)
- Effect of Oxytetracycline (OTC) on the activities of enzyme and microbial community metabolic profiles in composting
 CHEN Zhixue, GU Jie, GAO Hua, et al (6957)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Variations in leaf anatomy of *Larix gmelinii* reflect adaptation of its photosynthetic capacity to climate changes
 JI Zijong, QUAN Xiankui, WANG Chuankuan (6967)
- The studying of key ecological factors and threshold of landscape evolution in Yancheng Coastal wetland
 ZHANG Huabing, LIU Hongyu, LI Yufeng, et al (6975)
- Eco-physiological response of *Phragmites communis* to water table changes in the Horqin Sand Land
 MA Yunhua, ZHANG Tonghui, LIU Xinping (6984)
- Improvement of snowmelt implementation in the SWAT hydrologic model ... YU Wenjun, NAN Zhuotong, ZHAO Yanbo, et al (6992)
- Responses of lake fluctuation to climate change in Horqin Sandy Land
 CHANG Xueli, ZHAO Xueyong, WANG Wei, et al (7002)
- Water ecology and fractal characteristics of soil particle size distribution of three typical vegetations in Shell Island
 XIA Jiangbao, ZHANG Shuyong, WANG Rongrong, et al (7013)
- Spatio-temporal distribution of epilithic algal chlorophyll a in relation to the physico-chemical factors of Gufu River in Three Gorges Reservoir WU Shuyuan, GE Jiwen, MIAO Wenjie, et al (7023)

Resource and Industrial Ecology

- Graphic analysis of spatio-temporal effect for vegetation disturbance caused by coal mining: a case of Datong Coal Mine Area
 HUANG Yi, WANG Yunjia, LI Xiaoshun, et al (7035)

《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 余新晓

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 33 卷 第 21 期 (2013 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 21 (November, 2013)

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

国内外公开发刊

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元