

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

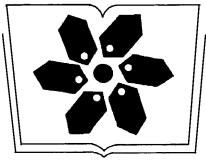
(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 5 期
Vol.31 No.5
2011



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 31 卷 第 5 期 2011 年 3 月 (半月刊)

目 次

盐胁迫下 3 种滨海盐生植物的根系生长和分布····· 弋良朋,王祖伟 (1195)

蕙兰病株根部内生细菌种群变化····· 杨 娜,杨 波 (1203)

森林不同土壤层全氮空间变异特征····· 张振明,余新晓,王友生,等 (1213)

基于生态位模型的秦岭山系林麝生境预测····· 罗 翀,徐卫华,周志翔,等 (1221)

黑河胜山自然保护区红松和红皮云杉生长释放判定及解释····· 王晓春,赵玉芳 (1230)

两种大型真菌菌丝体对重金属的耐受和富集特性····· 李维焕,于兰兰,程显好,等 (1240)

2005—2009 年浙江省不同土地类型上空对流层 NO₂ 变化特征 ····· 程苗苗,江 洪,陈 健,等 (1249)

关帝山天然次生针叶林林隙径高比 ····· 符利勇,唐守正,刘应安 (1260)

鄱阳湖湿地水位变化的景观响应····· 谢冬明,郑 鹏,邓红兵,等 (1269)

模拟氮沉降对华西雨屏区撑绿杂交竹凋落物分解的影响····· 涂利华,戴洪忠,胡庭兴,等 (1277)

喷施芳香植物源营养液对梨树生长、果实品质及病害的影响 ····· 耿 健,崔楠楠,张 杰,等 (1285)

不同覆膜方式对旱砂田土壤水热效应及西瓜生长的影响 ····· 马忠明,杜少平,薛 亮 (1295)

干旱胁迫对玉米苗期叶片光合作用和保护酶的影响 ····· 张仁和,郑友军,马国胜,等 (1303)

不同供水条件下冬小麦叶与非叶绿色器官光合日变化特征 ····· 张永平,张英华,王志敏 (1312)

水分亏缺下紫花苜蓿和高粱根系水力学导度与水分利用效率的关系 ··· 李文娆,李小利,张岁岐,等 (1323)

美洲森林群落 Beta 多样性的纬度梯度性 ····· 陈圣宾,欧阳志云,郑 华,等 (1334)

水体泥沙对菖蒲和石菖蒲生长发育的影响····· 李 强,朱启红,丁武泉,等 (1341)

蚯蚓在植物修复芫污染土壤中的作用····· 潘声旺,魏世强,袁 馨,等 (1349)

石榴园西花蓟马种群动态及其与气象因素的关系····· 刘 凌,陈 斌,李正跃,等 (1356)

黄山短尾猴食土行为····· 尹华宝,韩德民,谢继峰,等 (1364)

扎龙湿地昆虫群落结构及动态····· 马 玲,顾 伟,丁新华,等 (1371)

浙江双栉蝠蛾发生与土壤关系的层次递进判别分析····· 杜瑞卿,陈顺立,张征田,等 (1378)

低温导致中华蜜蜂后翅翅脉的新变异 ····· 周冰峰,朱翔杰,李 月 (1387)

双壳纲贝类 18S rRNA 基因序列变异及系统发生 ····· 孟学平,申 欣,程汉良,等 (1393)

基于物理模型实验的光倒刺鲃生态行为学研究 ····· 李卫明,陈求稳,黄应平 (1404)

中国铁路机车牵引能耗的生态足迹变化 ····· 何吉成 (1412)

城市承载力空间差异分析方法——以常州市为例····· 王 丹,陈 爽,高 群,等 (1419)

水资源短缺的社会适应能力理论及实证——以黑河流域为例 ····· 程怀文,李玉文,徐中民 (1430)

寄主植物叶片物理性状对潜叶昆虫的影响····· 戴小华,朱朝东,徐家生,等 (1440)

专论与综述

C₄ 作物 FACE (free-air CO₂ enrichment) 研究进展 ····· 王云霞,杨连新,Remy Manderscheid,等 (1450)

研究简报

石灰石粉施用剂量对重庆酸雨区受害马尾松林细根生长的影响····· 李志勇,王彦辉,于澎涛,等 (1460)

女贞和珊瑚树叶片表面特征的 AFM 观察 ····· 石 辉,王会霞,李秧秧,刘 肖 (1471)

水体泥沙对菖蒲和石菖蒲生长发育的影响

李强^{1,2,*}, 朱启红¹, 丁武泉¹, 宋力¹, 曹优明¹, 蒋山泉¹, 王国祥^{2,3}

(1. 重庆文理学院化学与环境工程学院, 重庆永川 402160; 2. 江苏省环境演变及生态建设重点实验室, 江苏南京 210097;
3. 南京师范大学地理科学学院, 江苏南京 210097)

摘要: 三峡库区消落带植物恢复不仅面临长期淹水逆境, 还面临高水位落差、反季节消落等环境因素的胁迫。菖蒲和石菖蒲是库区常见的两种湿生植物, 探讨它们在泥沙水体中的生长发育, 有利于为三峡库区消落带植被恢复的物种选择提供科学依据。用粒径小于 100 μm 的泥沙分别配置浊度为 30、60 和 90NTU 的浑浊水体, 8 月将菖蒲 (*Acorus calamus* L.) 和石菖蒲 (*Acorus tatarinowii* S.) 植株分别种植于上述水体中, 翌年 4 月统计植株的萌发数、叶长、叶宽、叶片数, 利用水下饱和脉冲荧光仪 (DIVING-PAM) 测定叶片的快速光响应曲线。结果表明, 各浊度组植株的萌发率与对照组相同, 30NTU 组石菖蒲和菖蒲的植株数显著多于对照组, 且石菖蒲的植株数随水体浊度增加呈增多趋势, 而菖蒲的植株数呈相反趋势。石菖蒲和菖蒲 30NTU 组植株的叶长、叶宽以及总叶片数、总叶长均显著大于对照组; 石菖蒲 60NTU 组和 90NTU 组植株的叶长、叶宽和总叶长显著小于对照组 ($P < 0.05$), 而菖蒲 60NTU 组的叶长、叶宽和叶片数显著大于对照组 ($P < 0.01$), 90NTU 组植株的叶长、叶宽和叶片数与对照组无显著差异 ($P > 0.05$), 且菖蒲 60NTU 组和 90NTU 组植株的总叶片数和总叶长均显著低于对照组 ($P < 0.01$)。由快速光响应曲线可知, 在较高光强照射下各浊度组植株的光化学荧光淬灭系数 (qP)、非光化学淬灭系数 (qN) 和相对电子传递速率 ($rETR$) 均显著降低, 但在低光下各浊度组植株的 qP 、 qN 和 $rETR$ 均显著高于对照组, 且菖蒲对低光的耐受范围大于石菖蒲。因而, 菖蒲和石菖蒲均能长期生长于浅 (0.9m) 的悬浮泥沙水体中, 具有一定的耐淹能力。

关键词: 泥沙; 菖蒲; 石菖蒲; 生长发育; 快速光响应曲线

Influence of silts on growth and development of *Acorus calamus* and *Acorus tatarinowii* in turbid water

LI Qiang^{1,2,*}, ZHU Qihong¹, DING Wuquan¹, SONG Li¹, CAO Youming¹, JIANG Shanquan¹, WANG Guoxiang^{2,3}

1 College of Chemistry and Environmental Engineering, Chongqing University of Arts and Sciences, Chongqing 402160, China

2 Jiangsu Key Laboratory of Environmental Change and Ecological Construction, Nanjing 210097, China

3 College of Geographical Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China

Abstract: 175m—145m—175m project is carried out to regulate water level under normal circumstances, which results in periodic fluctuation of water level over 30m in the Three Gorges Reservoir. Different from most reservoirs, water level rose in winter while dropped in summer in the Three Gorges Reservoir. So, besides the case of being submerged for a long time, vegetations in the water-level-fluctuating zone suffered from two problems caused by those two factors described above. Both *Acorus calamus* L. and *Acorus tatarinowii* S. are common kinds of wetland species in the Three Gorges Reservoir, thus the study on their growth and development in turbid waters would provide a scientific basis for selecting restoration species of the water-level-fluctuating zone in the Three Gorges Reservoir. Seedlings of *Acorus calamus* L. and *Acorus tatarinowii* S. were planted in water with turbidity of 30NTU, 60NTU or 90NTU respectively in August, in which the turbidity of the water was controlled by dispersing silt particles smaller than 100 μm in diameter. The effect of water turbidity on the growth (such

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40873057); 重庆市教育委员会科学技术研究项目 (KJ081206); 重庆市科委自然科学基金计划资助项目 (CSTC, 2009BB7255); 江苏省环境演变及生态建设重点实验室开放课题 (JSKLEC200801); 重庆文理学院科研重点项目和引进人才启动资金项目资助

收稿日期: 2010-01-31; 修订日期: 2011-01-16

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lq1973_2002@163.com

as sprouting number, leaf length, leaf width, leaf number) in two species of *Acorus* was studied in next spring. The rapid light responding curves of the leaves were determined in situ by a developed, submersible, pulse-amplitude modulated (PAM) fluorometer, diving-PAM. Sprouting rates in groups with different treatment groups were observed to be the same as those of the control group. In the water with turbidity of 30NTU, plants number of *A. tatarinowii* and *A. calamus* were significantly more than that of the control. Additionally, plants number of *A. tatarinowii* showed a distinctive trend to increase, but that of *A. calamus* exhibited the opposite trend. Moreover, leave length, leave width, total leaf number and total leaf length of two species plants in 30NTU treatment group were more than those of the control. In the water with turbidity of 60NTU and 90NTU, leave length, leave width and total leaf length of *A. tatarinowii* were remarkably lower than those of the control ($P < 0.05$). Furthermore, leaf length, leaf width and leaf number of *A. calamus* in 60NTU treatment group were significantly higher than those of the control group ($P < 0.01$), whereas there was no significant difference ($P > 0.05$) between 90 NTU treatment and the control. Meanwhile, the total leaf number and total leaf length of *A. calamus* in 60NTU and 90 NTU treatment groups were significantly lower than those of the control group ($P < 0.01$). Measurement of the light responding curve in different treatment groups of two species of *Acorus* showed that photochemical fluorescence quenching (qP), non-photochemical quenching (qN) and relative electron transport rate ($rETR$) were remarkably decreased under the higher light intensity while qP , qN and $rETR$ were significantly higher under low light intensity than those of the control. Moreover, the tolerance range of *A. calamus* under low light condition was larger than that of *A. tatarinowii*. In summary, *A. calamus* and *A. gramineus* could grow in shallow silt waters (water depth is 0.9 metre) for a long time, endowed with the ability of drowning resistance in turbid water.

Key Words: silt; *Acorus calamus*; *Acorus tatarinowii*; growth and development; rapid light responding curve

三峡水利枢纽工程在正常情况下的调度按 175m—145m—175m 水位方案运行,库区将会出现周期性的水位涨落,水位落差达 30m,形成一个约 300km²的涨落区——消落带^[1]。水位升高过程中,水体环境变化剧烈,适应于消落带的植被难以短期自然形成。因而,对三峡库区消落带进行一定的人工修复和构建成为一种必然的选择。在库区蓄水期间,消落带的水湿生植物群落将不可避免的面临一段时间的沉水生活,水下光照条件对其萌发、生长发育、繁殖的影响和其对低光、淹水的耐受能力,是构建这类群落时首先要考虑的问题之一,也是人工配置水湿生植物群落时,选择种类及群落种类配置的科学基础。但是,在富含泥沙的长江水体中水下有效光强不仅会随着水深的增加显著降低,而且也受到水体泥沙的显著影响。目前,水体泥沙对水湿生植物的影响主要集中在沉水植物方面^[2-3]。菖蒲(*Acorus calamus* L.)和石菖蒲(*Acorus tatarinowii* S.)是两种常见的生长于长江流域的菖蒲属(*Acorus*)植物,主要生长于河岸、溪边,为多年生挺水型草本植物^[4]。其地下具有储藏物质丰富的根状茎,对不利环境的适应能力较强^[5-6]。本文选择这两种菖蒲属植株为材料,研究在浑浊泥沙水体中菖蒲的萌发、生长和光合荧光特性,为三峡库区水生植被恢复的物种选择提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

菖蒲(*Acorus calamus* L.)多年水生草本植物,根状茎横走,粗状,稍扁,直径 0.5—2cm;叶基生,叶片剑状线形,中肋明显,两侧均隆起。石菖蒲(*Acorus tatarinowii* S.)根状茎横走,多分枝;叶剑状条形,两列状密生于短茎上,全缘,先端渐尖,有光泽,不具中肋^[4]。

将三峡库区采集的菖蒲(*A. calamus* L.)和石菖蒲(*A. tatarinowii* S.)种植于盆(20cm×15cm×12cm)中,每盆 5 株;自然光照下生长 2 周,实验开始时植株叶长分别为(49.5±7.2)cm、(35.9±8.7)cm。

1.2 浑浊泥沙水体的制备

实验泥沙采自长江朱沱段,用孔径 100μm 筛网水洗过滤掉 100μm 以上的泥沙,滤液静止 2 h 后,选上层悬浮液作为实验用的浑浊泥沙水体。悬浮泥沙主要为粒径 1—1.5μm 的泥沙,约占 45%;其次为 50—100μm、

2.5—5 μm 和 25—50 μm 粒径的泥沙,分别占 21%、15% 和 10%。使用 2100-P 浊度仪定时监测水体浊度,以调配实验水体的浊度^[2]。

1.3 实验体系的构建

实验体系由浑水发生池(0.38 m×0.25 m×0.45 m)、植物实验系统(Ø0.59 m×0.9 m)和管道组成。浑水发生池搅拌后的悬浮泥沙溶液经管道流入各植物系统,分别调节各管道的水流速度,使各植物系统的水体浊度分别约为 30NTU、60NTU 和 90NTU,以不含泥沙的水体为对照。实验期间,每 2h 监测一次植物系统中的水体浊度,调节各管道水流速度以稳定水体浊度。每个植物系统底部各放入 1 盆菖蒲植株和石菖蒲植株,每个浊度 3 组重复。

1.4 浑浊泥沙水体中植株的萌发和生长发育

实验从 2008 年 8 月 10 日开始,浑浊水体中的植株完全淹没于水深 0.9m 的水体中。翌年 2 月中旬植株逐渐开始萌发,至 4 月 11 日时统计植株数、各株的叶片数、叶长和叶宽,计算各盆植株的萌发率、总叶片数和总叶长,并测定植株最长叶片的快速光响应曲线。

1.5 叶片快速光响应曲线的测定

用水下叶绿素荧光仪(DIVING-PAM)测定叶片的快速光响应曲线。测定于早晨 7:00—8:00 进行,水面光照强度为(27±1) $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。各实验组选择 3 株植株的最长叶片测定快速光响应曲线^[3]。分别绘出相对光合电子传递速率($rETR$)、光化学淬灭系数(qP)和非光化学淬灭系数(qN)与光强的快速光响应曲线^[7]。 $qP = (F_m' - F_t) / (F_m' - F_o)$; $qN = (F_m - F_m') / (F_m - F_o)$; $rETR = 0.84 \times 0.5 \times PAR \times (F_m' - F_t) / F_m'$ ^[8]。

1.6 数据分析

采用 SPSS 软件对实验数据进行处理和分析。水体浊度对菖蒲和石菖蒲的萌发和生长发育的影响采用单因素方差分析完成(one-way ANOVA)。用 LSD 法判断各浊度组植株萌发和生长发育的的差异显著性,用独立样本 t 测试(Independent-Samples T test)检验各浊度组植株与对照组植株间的萌发、生长发育差异。文中的图表由 Microsoft Excel 软件制作完成。

2 结果与分析

2.1 各水体中菖蒲和石菖蒲的萌发率和植株数差异

翌年 2 月,2 种植株的根状茎均逐渐开始萌发形成新株,至 4 月时萌发率均为 100%。表明在完全淹水条件下 2 种植株的萌发率未受到显著影响。

但是,水体浊度对菖蒲和石菖蒲萌发植株数的影响存在显著差异。由图 1 可知,在低浊度(30NTU)条件下菖蒲的植株形成显著受到促进,在高浊度(60NTU 和 90NTU)条件下受到显著的抑制。而各浊度组石菖蒲植株的形成均受到促进,特别是在 60NTU 水体中促进显著;随着水体浊度的进一步增大,在 90NTU 水体中植株形成的促进作用显著降低。在对照组和 30NTU 组中石菖蒲的植株数显著少于菖蒲,但在高浊度(60NTU 和 90NTU)组中前者的植株数显著多于后者。

2.2 各水体中菖蒲和石菖蒲的生长发育差异

(1)叶长和叶宽的变化 选择各实验盆中株高最高

的 5 株植株,以其最长叶片的叶长、叶宽作图。由图 2 可知,石菖蒲 30NTU 组的叶长和叶宽显著高于对照,而 60NTU 组和 90NTU 组的叶长和叶宽显著低于对照($P < 0.05$)。在 30NTU 和 60NTU 水体中菖蒲的叶长和叶宽显著被促进,经 LSD 检验,30NTU 组和 60NTU 组叶片长无显著差异($P > 0.05$),但显著高于 90NTU 组($P < 0.01$)。

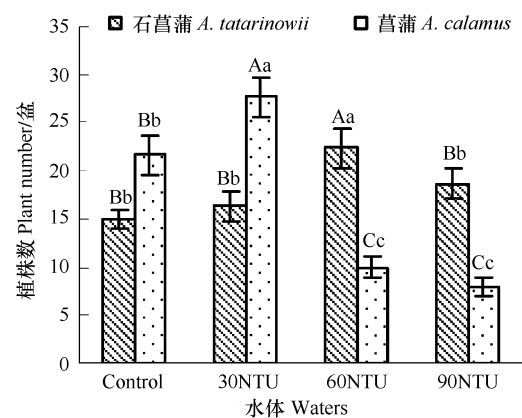


图 1 不同浊度下石菖蒲和菖蒲的植株数

Fig. 1 Plant number of *A. tatarinowii* and *A. calamus* in different turbid waters

同一品种中不同大小写字母分别表示差异达 1% 和 5% 显著水平

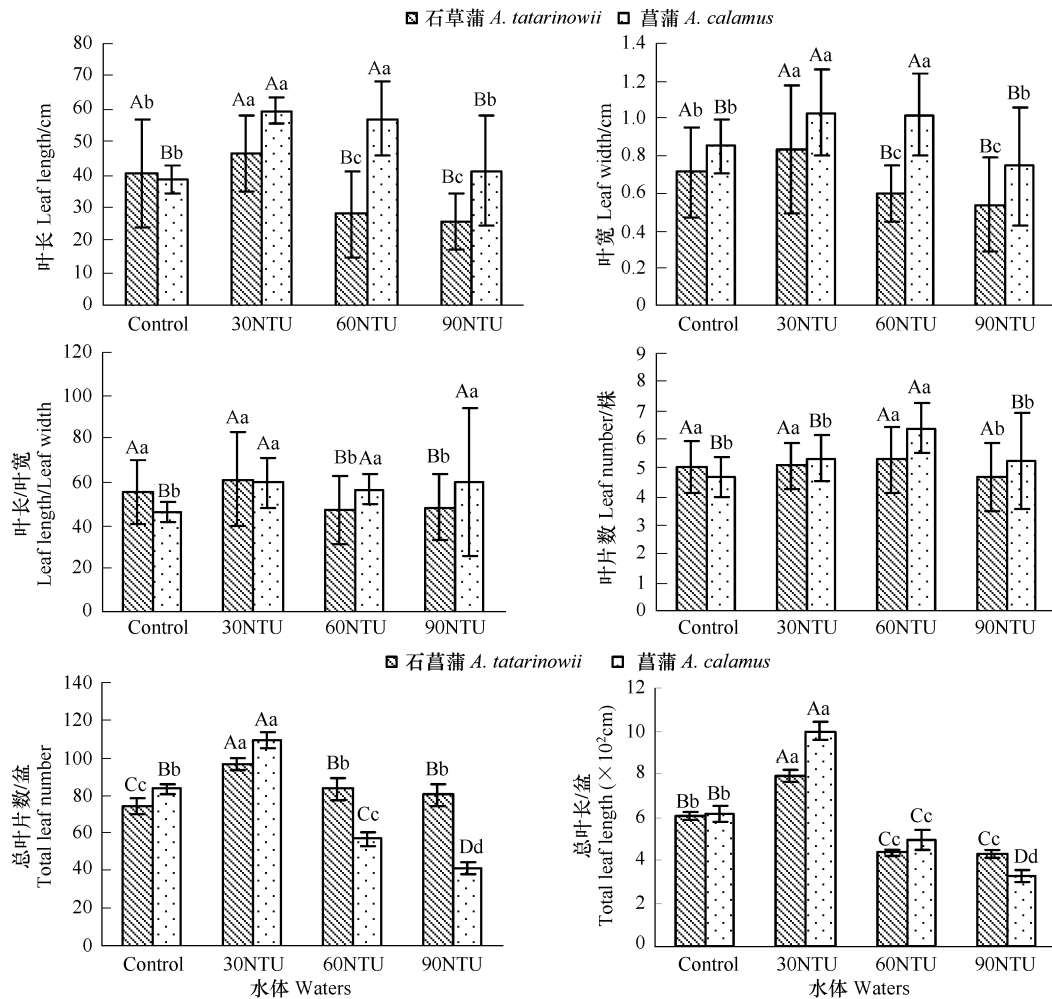


图2 不同浊度下石菖蒲和菖蒲的叶长、叶宽、叶长/叶宽、叶片数、总叶长和总叶片数的变化

Fig. 2 Changes of leaf length, leaf width, ratio of leaf length and leaf width, leaf number of plant, total leaf length, and total leaf number of *A. tatarinowii* and *A. calamus* in different turbid waters

(2) 叶长/叶宽比 (L/W) 的变化 以最长叶片的叶长、叶宽之比作图。由图 2 可知, 30NTU 组石菖蒲的 L/W 值与对照组无显著差异, 高浊度水体 (≥ 60 NTU) 降低了石菖蒲的 L/W 值 ($P < 0.01$); 而各浊度组菖蒲的 L/W 值均被显著增加 ($P < 0.01$)。

(3) 单株叶片数变化 以各实验盆中植株的叶片数作图。由图 2 可知, 水体浊度对石菖蒲单株叶片数的促进作用显著小于菖蒲。石菖蒲 30NTU 组和 60NTU 组的叶片数与对照组无显著差异, 而 90NTU 组叶片数显著低于对照组 ($P < 0.05$)。对于菖蒲来说, 各浊度组植株的叶片数均高于对照组, 且 60NTU 组的叶片数显著高于其他浊度组和对照组 ($P < 0.01$)。

(4) 总叶片数的变化 以各实验盆中植株的总叶片数作图。由图 2 可知, 各浊度组石菖蒲的总叶片数显著增加, 但高浊度组 (60NTU 和 90NTU) 与对照组比较则总叶片数显著减少。而菖蒲的总叶片数仅在 30NTU 组显著增加, 其 60NTU 组和 90NTU 组的总叶片数均显著低于对照组 ($P < 0.01$)。

(5) 总叶长的变化 以各实验盆中植株的总叶片长作图。由图 2 可知, 30NTU 组石菖蒲和菖蒲的总叶长均显著大于对照组 ($P < 0.01$), 而高浊度组 (60NTU 和 90NTU) 石菖蒲和菖蒲的总叶长均显著小于对照组 ($P < 0.01$)。

2.3 悬浮泥沙水体中叶片的光合荧光特性

光强- qP 曲线: 光化学淬灭系数 (qP) 和非光化学淬灭系数 (qN) 描绘了能量耗散途径的相对影响。 qP 是

PS II 天线色素吸收的光能用于光化学电子传递的份额,较低的 qP 反映 PS II 中开放的反应中心比例和参与 CO_2 固定的电子减少。由图 3 可知,石菖蒲和菖蒲的 qP 值随光照强度的增加呈降低趋势。各浊度组 qP 值的降低幅度显著小于对照组,而在第 1 个光化光照射下各浊度组植株的 qP 值显著大于对照,表明在低光下各浊度组叶片反应中心开放的比例大于对照,而随光强的增加叶片反应中心开放的比例显著低于对照,参与 CO_2 固定的电子数显著降低。

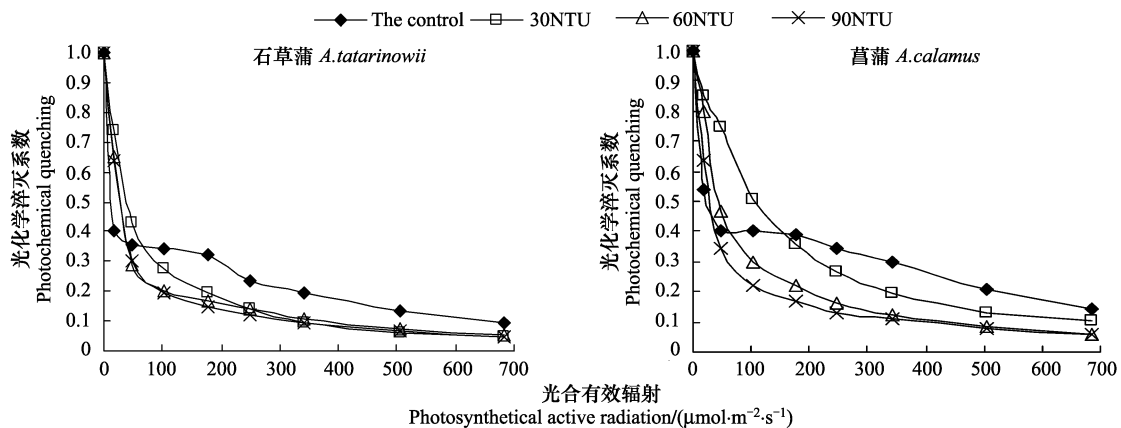


图 3 不同浊度下石菖蒲和菖蒲叶片的光化学淬灭系数随光合有效辐射的变化

Fig. 3 Photochemical quenching as a function of photosynthetic active radiation of *A. tatarinowii* and *A. calamus* in different turbid waters

光强- qN 曲线的影响:非光化学淬灭系数(qN)反映的是天线色素吸收的光能不能用于电子传递而以热的形式耗散掉的光能部分,而热耗散是植物保护 PS II 的重要机制。由图 4 可知,石菖蒲和菖蒲的 qN 随光照强度的增加呈迅速的增加趋势,热耗散量增加。与对照组比较,各浊度组的热耗散量均显著降低,且随着水体浊度增加植株的热耗散能力呈显著降低趋势。表明各浊度组石菖蒲和菖蒲植株热耗散的光能减少。

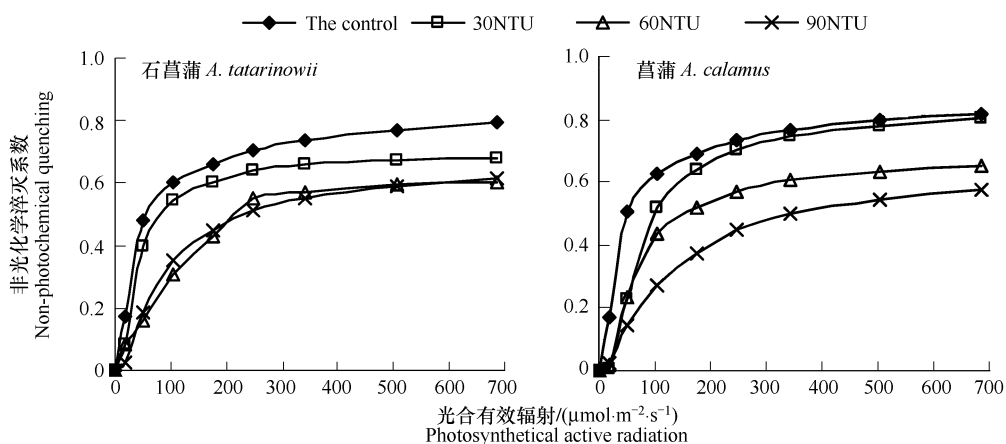


图 4 不同浊度下石菖蒲和菖蒲叶片的非光化学淬灭系数随光合有效辐射的变化

Fig. 4 Non-photochemical quenching as a function of photosynthetic active radiation of *A. tatarinowii* and *A. calamus* in different turbid waters

光强- $rETR$ 曲线的影响:PS II 的相对光合电子传递速率($rETR$)是反映实际光强下的表观电子传递效率。 $rETR$ 用于度量光化学反应导致碳固定的电子传递情况。由图 5 可知,随光强的增加, $rETR$ 呈线型的升高,随后达稳定阶段,光合作用受限。与对照组比较,各浊度组植株的光合能力均显著降低。各浊度组石菖蒲的饱和光强约为 $176 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 低于对照组的饱和光强 ($248 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); 各浊度组间的 $rETR_{\text{max}}$ 无显著差异 ($P >$

0.05), 但各浊度组的 $rETR_{max}$ 显著低于对照组 ($P < 0.01$)。

随着水体浊度的增加, 菖蒲植株的光合能力呈显著降低趋势。对照组植株的饱和光强约为 $342 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 显著高于各浊度组的 $176 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; 且对照组植株的 $rETR_{max}$ 也显著高于各浊度组, 30NTU 组、60 NTU 组和 90 NTU 组植株的 $rETR_{max}$ 分别为对照组的 58.1%、48.2% 和 32.0%, 差异达极显著水平 ($P < 0.01$)。

此外, 由图 5 还可知, 在低光化光(第 1 个光化光)照射下石菖蒲和菖蒲的 $rETR$ 均显著高于对照, 表明 2 种植株在低光下的光合能力增强。

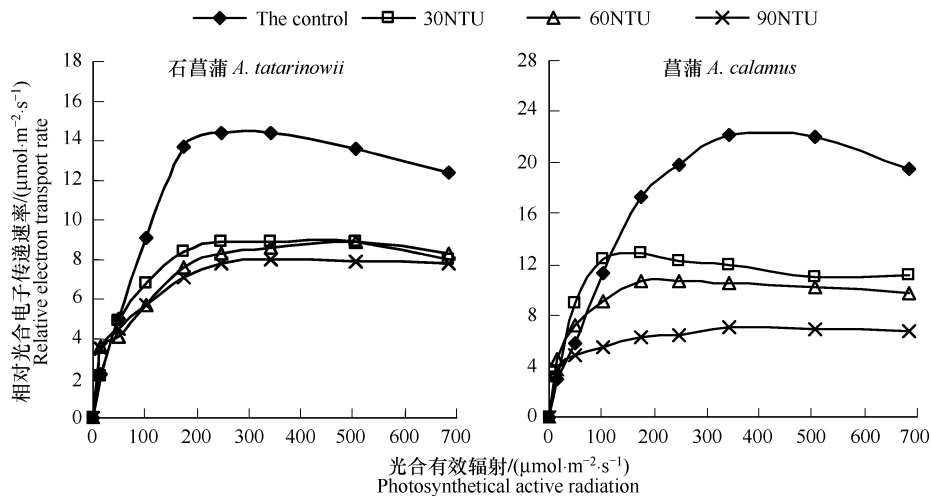


图 5 不同浊度下石菖蒲和菖蒲叶片的相对电子传递速率随光合有效辐射的变化

Fig. 5 Relative electron transport rate as a function of photosynthetic active radiation of *A. tatarinowii* and *A. calamus* in different turbid waters

3 讨论

三峡水库建成后, 库区不同区域消落区的淹水时间 ($\geq 145\text{m}$) 最长的 250d, 最短 ($\geq 170\text{m}$) 约为 90d^[9]。消落区植物的存活率是判断其水淹耐受能力的重要指标和可分布范围的重要标准^[10]。曹昀等^[6]将菖蒲根状茎切成 2—3cm 小段后种植于不同水深梯度, 其萌发率在 90d 内随水深梯度呈下降趋势; 而王海峰等^[5]将菖蒲 (*Acorus calamus*) 成熟植株种植于完全淹水环境, 其存活率在 180d 后仍达 100%, 均能萌发。本文将菖蒲和石菖蒲两种植株完全淹没于不同浊度的浑浊泥沙水体中, 8 个月后其萌发率也均为 100%, 表明这两种菖蒲属植株具有一定的耐淹能力。

在淹水条件下, 氧气供应减少, 加速了厌氧呼吸, 乙醇、乙醛等对植物有害物不断积累, 从而导致不耐淹植物产生淹水伤害^[11]; 而耐淹植物可通过形态和生理的变化来适应淹水环境, 有的植物可以加速枝条和叶片的伸长生长^[12-13], 而有的植物则减缓生长^[14-16]。生长于浑浊泥沙水体中的石菖蒲和菖蒲面临淹水和低光的逆境。本文研究表明, 在这种环境压力下菖蒲和石菖蒲的外部形态和光合生理特征均发生了显著的变化, 对逆境采用了不同的适应策略。首先, 在低浊度(30NTU)水体中菖蒲和石菖蒲的植株数显著增加, 且植株的最长叶片的叶长和叶宽显著增长, 其总叶片数和总叶片长也显著增大, 从而实现了其扩大生境、获得有利光照条件、增大接收光面积的目的。其次, 在高浊度(60NTU 和 90NTU)条件下, 菖蒲和石菖蒲对逆境的适应策略出现了显著的差异。石菖蒲 60NTU 组和 90NTU 组的植株数显著大于 30NTU 组和对照组, 且总叶片数显著大于对照组, 而最长叶片的叶长、叶宽和总叶长均显著低于 30NTU 组和对照组, 表明在高浊度条件下石菖蒲主要通过新株萌发和新叶产生以实现其扩大种群生境和增大光吸收面积, 避免逆境伤害的目的。而对于菖蒲来说, 在 60NTU 和 90NTU 水体中其新株的萌发均受到了显著抑制, 且总叶片数和总叶长均显著低于 30NTU 组和对照组; 此外, 60NTU 组植株最长叶片的叶长、叶宽与 30NTU 组无显著差异, 显著大于对照组, 且其叶片数显著大于 30NTU 组和对照组; 而 90NTU 组植株最长叶片的叶长、叶宽和植株的叶片数与对照组无显著差异,

表明菖蒲在高浊度水体中主要通过单株叶长、叶宽和叶片数的增加以获得有利于个体生长发育的光照条件和光吸收面积,以避免逆境伤害。

在淹水条件下,水下光照和二氧化碳不足,植物的光合作用受阻^[17]。曹昀等^[6]的研究表明,长时间(54—86d)完全淹水(水深100—120cm)对菖蒲幼苗光合系统 PS II 有显著影响。植物对弱光的适应性是以消耗更多结构物质用于扩大光能接收面积,增加光系统组分的含量,降低其原初光能转化效率等方式获得^[18]。本文研究表明,菖蒲和石菖蒲长期完全淹水生长于浑浊泥沙水体中,其光合荧光特征发生了显著的改变。由快速光合曲线可知,在低光(第1个光化光)照射下菖蒲和石菖蒲各浊度组叶片的 qP 值均高于对照组,而 qN 值低于对照组,叶片吸收的能量更多的参与了光化学反应,电子传递速率增大,合成了更多的光合产物。表明在低光条件下石菖蒲和菖蒲各浊度组植株能更有效的利用吸收的光能,合成生长所需的物质。随着光照强度的增加菖蒲和石菖蒲的 qP 值显著低于对照组,且随水体浊度的增加 qP 值呈降低趋势,各浊度组叶片吸收的能量参与光化学反应的比例减少,光化学淬灭的能量显著降低;同时,各浊度组的 qN 值显著低于对照组,随水体浊度增加 qN 值呈降低趋势,以热的形式耗散掉的能量也显著减少,表明在较高光照条件下各浊度组叶片吸收的能量不能通过光化学淬灭和非光化学淬灭的形式有效的耗散掉。因此,长时间淹没于悬浮泥沙水体中的石菖蒲和菖蒲植株,如暴露于较高的光照条件下其叶片易发生光抑制,受到光伤害。

进一步比较菖蒲和石菖蒲在低光下的光合能力可知,在第1个光化光照射下石菖蒲各浊度组植株的 qP 值和 $rETR$ 显著大于对照,能合成更多的光合产物;在第2个光化光照射下,除30NTU组外其余浊度组的 qP 值和 $rETR$ 均显著低于对照,光合产物合成减少。而菖蒲30NTU组、60NTU组和90NTU组植株的 qP 值和 $rETR$ 分别第1至第3、第1至第2和第1个光化光照射下显著大于对照,表明在悬浮泥沙水体中菖蒲比石菖蒲能更有效的利用所吸收的光能,合成生长所需的物质。这可能也是菖蒲完全淹水生长于高浊度(60NTU和90NTU)水体逆境下采用优先促进单株叶片发育策略的原因。

三峡地区生物多样性丰富,植物种类约3064种^[19]。但适合30m以内消落区高度的岸坡植物并不多见。目前,三峡库区仅发现两种植物(中华蚊母和疏花水柏)可能可作为消落区的绿化植物^[20]。此外,香根草也可能成为消落区绿化植物的一种选择^[21]。但是,库区消落区植被的构建不可能仅依靠两三种的植物,否则由于群落植被物种多样性低,生态系统脆弱,群落结构易受到破坏。其实,由于库区水位的调节特点、不同消落区的坡度和消落区位于库区不同的位置等因素,在消落区自然形成或人工构建较为稳定的植被群落是可能的。消落区周年干湿交替变化的特点可能会使部分水生和湿生植物能够完成萌发、生长发育和繁殖;在某些消落区,将有可能形成一些适宜于这种水位变化的自然植被群落,从而在消落区形成适应库区水位变化特点的群落演替。当然,由于库区周年水位变化大,干扰剧烈,这种群落自然形成的过程可能会很缓慢,那么,通过对湿生资源的调查和群落动态研究,人为引种一些适宜于这种水位变化特点的植物,优化群落的配置,并通过一些工程技术,构建较为稳定的生态群落也是可能的。本文研究表明,两种菖蒲均具有一定的耐淹能力,可以作为库区消落区引种物种的一个选择。当然,要成功实现这两种植物的自然演替还有许多问题要解决,如植株露水后高光对叶片光合机构的影响机制,低水位期间土壤水分缺失对植株生长发育的影响等。

References:

- [1] Dai F X, Xu W N, Chen F Q. Pondering over falling zone ecosystem of Sanxia reservoir and its ecological rehabilitation. *Soil and Water Conservation in China*, 2006, (12): 6-8.
- [2] Li Q, Wang G X. Influence of silts on growth and development of *Vallisneria Asiatica* and its leaves' photosynthetic physiological characteristics in turbid water. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(6): 2852-2860.
- [3] Li Q, Wang G X, Pan G Q, Wang W L, Ma T. Influence of water turbidity on germination of *Potamogeton crispus* and growth of germinated seedling. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(11): 2594-2601.
- [4] Li Y K. *Flora of Guizhou* (Vol. 6). Chendu: Sichuan Ethnic Publishing House, 1989: 543.
- [5] Wang H F, Zeng B, Qiao P, Li Y, Luo F L, Ye X Q. Survival and growth response of *Vetiveria zizanioides*, *Acorus calamus* and *Alternanthera philoxeroides* to long-term submergence. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(6): 2571-2580.

- [6] Cao Y, Wang G X, Liu Y. Effects of flooding on germination and seedlings growth of Sweet Flag (*Acorus calamus* L.). *Journal of Lake Sciences*, 2007, 19(5): 577-584.
- [7] Ralph P J, Gademann R. Rapid light curves: a powerful tool to assess photosynthetic activity. *Aquatic Botany*, 2005, 82(3): 222-237.
- [8] Schreiber U, Gademann R, Ralph P J, Larkum A W D. Assessment of photosynthetic performance of *Prochloron* in *Lissoclinum patella* in hospite by chlorophyll fluorescence measurements. *Plant Cell and Physiology*, 1997, 38(8): 945-951.
- [9] Zhang H. Analysis of the characteristics and ecosystem service of the water-level-fluctuating zone in the Three Gorges Reservoir. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2008, 17(3): 374-378.
- [10] Vervuren P J A, Blom C W P M, de Kroon H. Extreme flooding events on the Rhine and the survival and distribution of riparian plant species. *Journal of Ecology*, 2003, 91(1): 135-146.
- [11] Hook D D. Waterlogging tolerance of low land tree species of the south. *Southern Journal of Applied Forestry*, 1984, 8(3): 136-149.
- [12] Voisenek L A C J, Clomer T D, Pierik R, Millenaar F F, Peeters A J M. How plants cope with complete submergence. *New Phytologist*, 2006, 170(2): 213-226.
- [13] Groeneveld H W, Voisenek L A C J. Submergence-induced petiole elongation in *Rumex palustris* is controlled by developmental stage and storage compounds. *Plant and Soil*, 2003, 253(1): 115-123.
- [14] He J B, Bögemann G M, van de Steeg H M, Rijnders J G H M, Voisenek L A C J, Blom C W P M. Survival tactics of *Ranunculus* species in river floodplains. *Oecologia*, 1999, 118(1): 1-8.
- [15] Luo F L, Zeng B, Chen T, Ye X Q, Liu D. Response to simulated flooding of photosynthesis and growth of riparian plant *Salix Variegata* in the Three Gorges reservoir region of China. *Acta Phytocologica Sinica*, 2007, 31(5): 910-918.
- [16] Voisenek L A C J, Rijnders J H G M, Peeters A J M, van de Steeg H M, de Kroon H. Plant hormones regulate fast shoot elongation underwater: from genes to communities. *Ecology*, 2004, 85(1): 16-27.
- [17] Mommer L, Visser E J W. Underwater photosynthesis in flooded terrestrial plants: a matter of leaf plasticity. *Annals of Botany*, 2005, 96(4): 581-589.
- [18] Zhang Q D, Tang C Q, Lin S Q, Lou S Q, Kuang T Y. Effects of light intensity on photosynthetic characteristics of wheat seedling. *Acta Botanica Sinica*, 1988, 30(5): 508-514.
- [19] Jiang M X, Cai Q H. Preliminary studies on the riparian plant communities of main channel in the Three Gorges Area, the Yangtze River. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2000, 24(5): 458-463.
- [20] Dai F X, Xu W N, Liu D F, Chen F Q. Construction of gradient ecological restoration pattern of level-fluctuating zone in the Three Gorges reservoir area. *Soil and Water Conservation in China*, 2006, (1): 34-36.
- [21] Huang C, Xie H Y, Long L B. A research on the lake-bank fluctuating belt's eco-system reconstruction model in the Three Gorges Zone. *Journal of Chongqing College of Education*, 2003, 16(3): 63-66.

参考文献:

- [1] 戴方喜, 许文年, 陈芳清. 对三峡水库消落区生态系统与其生态修复的思考. *中国水土保持*, 2006, (12): 6-8.
- [2] 李强, 王国祥. 水体泥沙对苦草生长发育和叶片光合生理特性的影响. *生态学报*, 2009, 29(6): 2852-2860.
- [3] 李强, 王国祥, 潘国权, 王文林, 马婷. 水体浊度对菹草萌发及萌发苗光合荧光特性的影响. *生态学报*, 2006, 26(11): 2594-2601.
- [4] 李永康. 贵州植物志 (第六卷). 成都: 四川民族出版社, 1989: 543.
- [5] 王海锋, 曾波, 乔普, 李娅, 罗芳丽, 叶小齐. 长期水淹条件下香根草 (*Vetiveria zizanioides*)、菹蒲 (*Acorus calamus*) 和空心莲子草 (*Alternanthera philoxeroides*) 的存活及生长响应. *生态学报*, 2008, 28(6): 2571-2580.
- [6] 曹昀, 王国祥, 刘玉. 淹水对菹蒲萌发及幼苗生长的影响. *湖泊科学*, 2007, 19(5): 577-584.
- [9] 张虹. 三峡重庆库区消落区基本特征与生态功能分析. *长江流域资源与环境*, 2008, 17(3): 374-378.
- [15] 罗芳丽, 曾波, 陈婷, 叶小齐, 刘巖. 三峡库区岸生植物秋华柳对水淹的光合和生长响应. *植物生态学报*, 2007, 31(5): 910-918.
- [18] 张其德, 唐崇钦, 林世青, 娄世庆, 匡廷云. 光强度对小麦幼苗光合特性的影响. *植物学报*, 1988, 30(5): 508-514.
- [19] 江明喜, 蔡庆华. 长江三峡地区干流河岸植物群落的初步研究. *水生生物学报*, 2000, 24(5): 458-463.
- [20] 戴方喜, 许文年, 刘德富, 陈芳清. 对构建三峡库区消落带梯度生态修复模式的思考. *中国水土保持*, 2006, (1): 34-36.
- [21] 黄川, 谢红勇, 龙良碧. 三峡湖岸消落带生态系统重建模式的研究. *重庆教育学院学报*, 2003, 16(3): 63-66.

CONTENTS

Root system characters in growth and distribution among three littoral halophytes YI Liangpeng, WANG Zuwei (1195)

Population dynamics of endophytic bacteria isolated from the roots of infected *Cymbidium faberi* YANG Na, YANG Bo (1203)

Spatial variability of forest soil total nitrogen of different soil layers ZHANG Zhenming, YU Xinxiao, WANG Yousheng, et al (1213)

Habitat prediction for forest musk deer (*Moschus berezovskii*) in Qinling mountain range based on niche model LUO Chong, XU Weihua, ZHOU Zhixiang, et al (1221)

Growth release determination and interpretation of Korean pine and Koyama spruce in Shengshan National Nature Reserve, Heilongjiang Province, China WANG Xiaochun, ZHAO Yufang (1230)

Growth tolerance and accumulation characteristics of the mycelia of two macrofungi species to heavy metals LI Weihuan, YU Lanlan, CHENG Xianhao, et al (1240)

Characters of the OMI NO₂ column densities over different ecosystems in Zhejiang Province during 2005—2009 CHENG Miaomiao, JIANG Hong, CHEN Jian, et al (1249)

The forest gap diameter height ratio in a secondary coniferous forest of Guan Di Mountain FU Liyong, TANG Shouzheng, LIU Yingan (1260)

Landscape responses to changes in water levels at Poyang Lake wetlands XIE Dongming, ZHENG Peng, DENG Hongbing, et al (1269)

Effect of simulated nitrogen deposition on litter decomposition in a *Bambusa pervariabilis* × *Dendrocala mopsi* plantation, Rainy Area of West China TU Lihua, DAI Hongzhong, HU Tingxing, et al (1277)

Effect of aromatic plant-derived nutrient solution on the growth, fruit quality and disease prevention of pear trees GENG Jian, CUI Nannan, ZHANG Jie, et al (1285)

Influences of different plastic film mulches on temperature and moisture of soil and growth of watermelon in gravel-mulched land MA Zhongming, DU Shaoping, XUE Liang (1295)

Effects of drought stress on photosynthetic traits and protective enzyme activity in maize seedling ZHANG Renhe, ZHENG Youjun, MA Guosheng, et al (1303)

Photosynthetic diurnal variation characteristics of leaf and non-leaf organs in winter wheat under different irrigation regimes ZHANG Yongping, ZHANG Yinghua, WANG Zhimin (1312)

The root system hydraulic conductivity and water use efficiency of alfalfa and sorghum under water deficit LI Wenrao, LI Xiaoli, ZHANG Suiqi, et al (1323)

Latitudinal gradient in beta diversity of forest communities in America CHEN Shengbin, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (1334)

Influence of silts on growth and development of *Acorus calamus* and *Acorus tatarinowii* in turbid water LI Qiang, ZHU Qihong, DING Wuquan, et al (1341)

Roles of earthworm in phytoremediation of pyrene contaminated soil PAN Shengwang, WEI Shiqiang, YUAN Xin, et al (1349)

Population dynamics of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) along with analysis on the meteorological factors influencing the population in pomegranate orchards LIU Ling, CHEN Bin, LI Zhengyue, et al (1356)

Geophagy of *Macaca Thibetana* at Mt. Huangshan, China YIN Huabao, HAN Demin, XIE Jifeng, et al (1364)

The structure and dynamic of insect community in Zhalong Wetland MA Ling, GU Wei, DING Xinhua, et al (1371)

Analysis of layer progressive discriminant relations between the occurrence of *Bipectilus zhejiangensis* and soil DU Ruiqing, CHEN Shunli, ZHANG Zhengtian, et al (1378)

New mutations in hind wing vein of *Apis cerana cerana* (Hymenoptera: Apidae) induced by lower developmental temperature ZHOU Bingfeng, ZHU Xiangjie, LI Yue (1387)

18S rRNA gene variation and phylogenetic analysis among 6 orders of Bivalvia class MENG Xueping, SHEN Xin, CHENG Hanliang, et al (1393)

Laboratory study on ethology of *Spinibarbus hollandi* LI Weiming, CHEN Qiuwen, HUANG Yingping (1404)

Dynamic change in ecological footprint of energy consumption for traction of locomotives in China HE Jicheng (1412)

Approach to spatial differences analysis of urban carrying capacity: a case study of Changzhou City WANG Dan, CHEN Shuang, GAO Qun, et al (1419)

Social adaptive capacity for water resource scarcity in human systems and case study on its measuring CHENG Huaiwen, LI Yuwen, XU Zhongmin (1430)

Effects of physical leaf features of host plants on leaf-mining insects DAI Xiaohua, ZHU Chaodong, XU Jiasheng, et al (1440)

Review and Monograph

Progresses of free-air CO₂ enrichment (FACE) researches on C₄ crops: a review WANG Yunxia, YANG Lianxin, Remy Manderscheid, et al (1450)

Scientific Note

Influence of limestone powder doses on fine root growth of seriously damaged forests of *Pinus massoniana* in the acid rain region of Chongqing, China LI Zhiyong, WANG Yanhui, YU Pengtao, et al (1460)

Leaf surface microstructure of *Ligustrum lucidum* and *Viburnum odoratissimum* observed by Atomic force microscopy (AFM) SHI Hui, WANG Huixia, LI Yangyang, LIU Xiao (1471)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 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	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 5 期 (2011 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 5 2011

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

主 编 冯宗炜
主 管 中国科学技术协会
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

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂
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

订 购 全国各地邮局
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

广告经营 京海工商广字第 8013 号
许 可 证

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

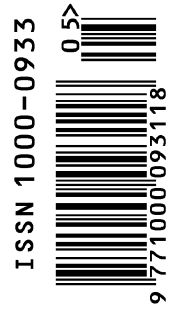
Editor-in-chief FENG Zong-Wei
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel:(010)64034563
E-mail:journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China



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