

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

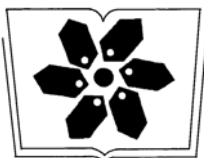
Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 12 期 Vol.33 No.12 **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 12 期 2013 年 6 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 森林低温霜冻灾害干扰研究综述 李秀芬, 朱教君, 王庆礼, 等 (3563)
- 碱蓬属植物耐盐机理研究进展 张爱琴, 庞秋颖, 阎秀峰 (3575)

个体与基础生态

- 中国东部暖温带刺槐花期空间格局的模拟与预测 徐琳, 陈效速, 杜星 (3584)
- 长白山林线树种岳桦幼树叶功能型性状随海拔梯度的变化 胡启鹏, 郭志华, 孙玲玲, 等 (3594)
- 油松天然次生林居群遗传多样性及与产地地理气候因子的关联分析 李明, 王树香, 高宝嘉 (3602)
- 施氮对木荷 3 个种源幼苗根系发育和氮磷效率的影响 张蕊, 王艺, 金国庆, 等 (3611)
- 围封对内蒙古大针茅草地土壤碳矿化及其激发效应的影响 王若梦, 董宽虎, 何念鹏, 等 (3622)
- 干热河谷主要造林树种气体交换特性的坡位效应 段爱国, 张建国, 何彩云, 等 (3630)
- 生物降解对黑碳及土壤上苯酚脱附行为的影响 黄杰勋, 莫建民, 李非里, 等 (3639)
- 3 个树种对不同程度土壤干旱的生理生化响应 吴芹, 张光灿, 裴斌, 等 (3648)
- 冬小麦节水栽培群体“穗叶比”及其与产量和水分利用的关系 张永平, 张英华, 黄琴, 等 (3657)
- 不同秧苗素质和移栽密度条件下臭氧胁迫对水稻光合作用、物质生产和产量的影响 彭斌, 李潘林, 周楠, 等 (3668)
- 根域限制下水氮供应对膜下滴灌棉花叶片光合生理特性的影响 陶先萍, 罗宏海, 张亚黎, 等 (3676)
- 光照和生长阶段对菖蒲根系泌氧的影响 王文林, 王国祥, 万寅婧, 等 (3688)
- 植物病原菌拮抗性野生艾蒿内生菌的分离、筛选和鉴定 徐亚军, 赵龙飞, 陈普, 等 (3697)
- 不同生物型棉蚜对夏寄主葫芦科作物的选择 肖云丽, 印象初, 刘同先 (3706)
- 性别和温度对中华秋沙鸭越冬行为的影响 曾宾宾, 邵明勤, 赖宏清, 等 (3712)

种群、群落和生态系统

- 基于干扰的汪清林区森林生态系统健康评价 袁菲, 张星耀, 梁军 (3722)
- 洞庭湖森林生态系统空间结构均质性评价 李建军, 刘帅, 张会儒, 等 (3732)

景观、区域和全球生态

- 川西米亚罗林区不同海拔岷江冷杉生长对气候变化的响应 徐宁, 王晓春, 张远东, 等 (3742)
- 2001—2010 年内蒙古植被净初级生产力的时空格局及其与气候的关系 穆少杰, 李建龙, 周伟, 等 (3752)
- 地形因子对盐城滨海湿地景观分布与演变的影响 侯明行, 刘红玉, 张华兵, 等 (3765)
- 毛乌素沙地南缘植被景观格局演变与空间分布特征 周淑琴, 荆耀栋, 张青峰, 等 (3774)
- 贵州白鹇湖沉积物中孢粉记录的 5.5 kaB. P. 以来的气候变化 杜荣荣, 陈敬安, 曾艳, 等 (3783)

典型河谷型城市春季温湿场特征及其生态环境效应..... 李国栋,张俊华,王乃昂,等 (3792)

秦岭南北近地面水汽时空变化特征..... 蒋 冲,王 飞,喻小勇,等 (3805)

露天矿区景观生态风险空间分异..... 吴健生,乔 娜,彭 建,等 (3816)

基于 Holdridge 和 CCA 分析的中国生态地理分区的比较 孔 艳,江 洪,张秀英,等 (3825)

资源与产业生态

中国农业生态效率评价方法与实证——基于非期望产出的 SBM 模型分析 潘 丹,应瑞瑶 (3837)

舟山市东极大黄鱼养殖系统能值评估..... 宋 科,赵 晟,蔡慧文,等 (3846)

不同基因型玉米间混作优势带型配置..... 赵亚丽,康 杰,刘天学,等 (3855)

气候与土壤对烤后烟叶类胡萝卜素和表面提取物含量的影响..... 陈 伟,熊 晶,陈 懿,等 (3865)

城乡与社会生态

成都市沙河主要绿化树种固碳释氧和降温增湿效益 张艳丽,费世民,李智勇,等 (3878)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 326 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 33 * 2013-06



封面图说: 长白山南坡的岳桦林——长白山岳桦林位于海拔约 1700—2000m 之间的山坡。这种阔叶林分布在针叶林带的上面,成为山地森林的上缘种类,在世界山地森林中实属罕见。岳桦能够顽强地抗御长白山潮湿、寒冷、强风等恶劣气候因素,在严酷的环境条件下形成纯林,是与其独特的生长发育机理密切相关的。岳桦的枝干颇具韧性,在迎风处,由于风吹雪压,树干成片地向背风侧倾斜,这种特性使它能不畏风雪,顽强生存。随着海拔的升高,岳桦林也逐渐矮化,这是岳桦林保护自身生存,适应大自然的结果。

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/stxb201209091269

王文林, 王国祥, 万寅婧, 夏劲, 唐晓燕, 陈昕, 梁斌, 庄巍. 光照和生长阶段对菖蒲根系泌氧的影响. 生态学报, 2013, 33(12): 3688-3696.

Wang W L, Wang G X, Wan Y J, Xia J, Tang X Y, Chen X, Liang B, Zhuang W. The influence of light and growth stage on oxygen diffusion capacity of *Acorus calamus* roots. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(12): 3688-3696.

光照和生长阶段对菖蒲根系泌氧的影响

王文林^{1,2}, 王国祥^{1,*}, 万寅婧³, 夏 劲¹, 唐晓燕², 陈 昕², 梁 斌², 庄 巍²

(1. 南京师范大学地理科学学院/江苏省环境演变与生态建设重点实验室, 南京 210023;

2. 环境保护部南京环境科学研究所, 南京 210042; 3. 江苏省环境工程咨询中心, 南京 210029)

摘要:以自然湖泊沉积物为研究基质,利用微型电机控制溶氧微电极实现纵向精确微位移,在照光与遮光条件下,对典型湿地植物菖蒲幼苗、成株根系根基部起总根长 1/4 处(根 1/4)、根系中部(根 1/2)、从根基部起总根长 3/4 处(根 3/4)及根尖(根 1)处根系微界面径向溶氧浓度变化进行原位精确测定。结果表明:无论有无光照,菖蒲幼苗、成株根系不同部位均存在从根表面至沉积物氧饱和度由高到低的氧扩散层,其厚度 0.18—0.68 mm;根 1/2、3/4、1 处氧扩散能力菖蒲成株较幼苗显著增强($P < 0.01$),根 1/4 处二者则无显著差异($P > 0.05$);光照对菖蒲幼苗、成株根系不同部位氧扩散能力的影响存在差异,光照对菖蒲幼苗根 1/2 及菖蒲成株根 1/2、根 3/4 处影响显著(光照组显著高于遮光组, $P < 0.01$),而对菖蒲幼苗根 1/4、根 3/4、根 1 及菖蒲成株根 1/4、根 1 处无显著影响($P > 0.05$);从根系泌氧空间差异上看,照光条件下菖蒲幼苗、成株分别表现为根 1/2 > 根 3/4 ≈ 根 1 ≈ 根 1/4 ($P < 0.01$, $P > 0.05$)和根 1/2 > 根 3/4 > 根 1 > 根 1/4 ($P < 0.01$),遮光条件下菖蒲幼苗、成株分别表现为根 1/2 ≈ 根 3/4 ≈ 根 1 ≈ 根 1/4 ($P > 0.05$)和根 1/2 > 根 3/4 ≈ 根 1 > 根 1/4 ($P < 0.01$, $P > 0.05$)。

关键词: 菖蒲; 幼苗; 成株; 根系泌氧; 光暗条件

The influence of light and growth stage on oxygen diffusion capacity of *Acorus calamus* roots

WANG Wenlin^{1,2}, WANG Guoxiang^{1,*}, WAN Yinjing³, XIA Jin¹, TANG Xiaoyan², CHEN Xin², LIANG Bin², ZHUANG Wei²

1 Jiangsu Key Laboratory of Environmental Change and Ecological Construction, College of Geographical Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China

2 Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Nanjing 210042, China

3 Jiangsu Environmental Engineering Consulting Center, Nanjing 210029, China

Abstract: Under light or dark conditions, the change of the radial oxygen loss at the points of 1/4, 1/2 and 3/4 far from root stem base (root 1/4, 1/2, 3/4) and root tip (root 1) and its micro-interface were measured in-situ by soluble oxygen microelectrode for *A. calamus* seedlings and adult *A. calamus* plants in a typical wetland. Sediment from natural lakes was used as experimental substrates and a micro motor was used to control the soluble oxygen microelectrode to verify the accuracy of the vertical micro position.

The result showed that: there was always an oxygen diffusion layer with an increasing gradient of oxygen saturation from the root surface to the anaerobic layer of sediment in the *A. calamus* roots in light or dark conditions. Oxygen diffusion layer thickness was 0.18—0.68 mm and maximum oxygen saturation was 42.9% under light condition and oxygen diffusion layer

基金项目:国家自然科学基金(41173078, 40873057);科技部国际合作重大项目(2010DFB33960);环境保护部南京环境科学研究所中央级公益性科研院所基本科研业务费;国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07101-007-003)

收稿日期:2012-09-09; 修订日期:2013-03-04

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangguoxiang@njnu.edu.cn

thickness was 0.22—0.38mm and maximum oxygen saturation was 21.5% under dark condition.

The oxygen diffusion capacity of root points at 1/2, 3/4, 1 of adult plants was significantly higher than those of the seedlings but was insignificant at the point of 1/4, oxygen diffusion layer thickness increased from 0.40, 0.32, 0.26mm to 0.68, 0.52, 0.46mm and maximum oxygen saturation increased from 6.4%, 3.6%, 4.1% to 42.9%, 22.5%, 10.2% under light condition. Oxygen diffusion layer thickness increased from 0.30, 0.28, 0.24mm to 0.38, 0.34, 0.36mm and maximum oxygen saturation increased from 3.5%, 4.0%, 3.1% to 21.5%, 12.5%, 11.6% under dark condition.

The influence of light on oxygen diffusion capacity of different root part at different plant growth stages were different. Light had significant influence on root 1/2 of seedlings and root 1/2, 3/4 of adult plant (light treatment exceeded dark treatment significantly, $P < 0.01$), but had no significant influence on root 1/4, 3/4, 1 of seedlings and root 1/4, 1 of adult plant ($P > 0.05$). As to the spatial variation of root oxygen release, it showed a tendency of root 1/2 > root 3/4, root 1, root 1/4 ($P < 0.01$, $P > 0.05$) and root 1/2 > root 3/4 > root 1 > root 1/4 ($P < 0.01$) respectively for seedlings and adult plants under light condition. It showed a tendency of no significant difference among root 1/2, 3/4, 1, 1/4 and root 1/2 > root 3/4, 1 > root 1/4 ($P < 0.01$) respectively for seedlings and adult plants under dark condition.

The phenomenon of minimum oxygen diffusion capacity at root 1/4 was mainly induced by the oxygen diffusion barrier in root stem base. Spatial difference of the oxygen diffusion capacity of root 1/2, 3/4, 1 were mainly affected by internal oxygen diffusion capacity and root biomass differences. The stronger the internal oxygen diffusion capacity, the more significant influence on spatial difference of the root oxygen diffusion capacity induced by root biomass differences. On the contrary, root biomass difference would not lead to spatial difference of the root oxygen diffusion capacity. For example, the oxygen diffusion capacity of the seedlings had no significant difference among root 1/2, 3/4, 1 under dark condition.

Key Words: *Acorus calamus*; seedlings; adult plants; root oxygen release; light and dark condition

湿地植物根系泌氧具有十分重要的意义,一方面形成根际氧化、还原异质环境,有利于污染物的吸收降解^[1-3],另一方面使根系附近还原性物质得到氧化^[4],促进湿地植物在根表形成铁锰氧化物膜^[5],有利于保护根部渗透性膜系统及其功能的发挥^[6]。光照被认为是影响湿地植物根系泌氧的重要因素^[7-8],其研究也日益得到关注。Emmal^[7]和 Water^[9]分别发现光照能提高芦苇(*Phragmites communis*)和水稻(*Oryza sativa* L.)的根系泌氧能力, Tomomi^[10]则发现光照能显著提高香蒲(*Typha orientalis*)的根系泌氧能力,对狭叶香蒲(*Typha angustifolia* L.)则没有影响。但以上研究均集中于光照对植物某一生长阶段根系某一部位的根系泌氧能力的影响,而湿地植物生长阶段的差异、根系不同部位的组织结构、生物功能等特性均可能会影响泌氧效果^[11],目前关于光照及生长阶段对湿地植物根系不同部位的泌氧影响研究鲜见报道。

根际微界面氧化层厚度往往只有数毫米^[12-13],其内部环境因子定量测定比较困难,因而上述相关研究均采用圆筒状金属铂电极技术、柠檬酸钛比色、蒽醌自由基负离子法等异位测定技术^[7,9-10],往往不能反映湿地植物根际在沉积物中的泌氧效应真实状况。溶氧微电极技术的发展能够原位测定湿地植物根际微界面溶氧的微时空分布,真实反映微界面溶氧特征,使进而探讨根系泌氧作用及其对污染物的影响成为可能。

本实验以自然湖泊沉积物为研究基质,利用微型电机控制溶氧微电极实现纵向精确微位移,在照光与遮光条件下,对典型湿地植物菖蒲幼苗、成株根系微界面径向溶氧变化进行原位精确测定,真实反映光照及植物生长阶段对根系-沉积物微界面溶氧特征的影响,揭示根系径向泌氧变化规律,为富营养化水体植物生态修复及污染控制提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验植株培养

选用典型湿地植物菖蒲(*Acorus calamus*),一种多年生湿生草本植物,广泛分布于温带、亚热带地区,我国各地均有分布,生长于池沼、河岸、河溪边等季节性和非周期性水位埋深变化较大的浅水区域^[14]。2012年

6月,在南京大学水环境生态修复平台玻璃温室中,将越冬的菖蒲块茎置于沉积物(沉积物取自南京城东一小富营养化湖泊(32°06'10.36"N,118°54'13.75"E)表层底泥)中培养,平均培养温度29.5℃,最后根据实验需求选择萌发水平一致的菖蒲作为实验用植物。

1.2 实验设计

2012年6月29日,从已萌发的菖蒲中选择株高12cm左右的菖蒲3株(3个重复),小心剥离根系沉积物后种植于1个0.5×0.5m实验盆中,沉积物使用培养菖蒲块茎时所用沉积物,覆泥深度12cm,定期加蒸馏水使其刚好覆盖沉积物,最后将实验盆置于光照培养箱中培养,培养箱外蒙上遮光布,培养条件为6:00—18:00 3000lx光照强度,18:00—翌日6:00停止照光,培养温度25℃,实验开始后定期测定菖蒲株高、叶宽。

7月3日,在菖蒲平均株高约15cm时(作为幼苗处理),在3株待测菖蒲中各选择1个根(根长约6cm)作为测定根,在照光(光强强度3000lx(Light))及遮光(Dark)条件下,测定离根基部1.5cm处(根1/4)、3.0cm处(根1/2)、4.5cm处(根3/4)和根尖处(根1)根系微界面径向溶氧浓度的变化;7月27日,在菖蒲平均株高约60cm时(作为成株处理),在照光及遮光条件下,再次测定幼苗时期选定的3个测定根(根长约11cm)离根基部2.7cm处(根1/4)、5.5cm处(根1/2)、8.2cm处(根3/4)和根尖处(根1)根系微界面径向溶氧浓度的变化。每次测定时,照光处理组测定时间为12:00,遮光处理组测定时间为24:00。此外,还同时测定根长及不同部位根直径等生长指标,以上指标取3个测定根平均值作比较,测定在光照培养箱中进行。

1.3 溶氧微电极测定

菖蒲测定根不同部位表面径向溶氧浓度变化由氧气微电极测定(clark-type O₂-electrode,直径25μm,Unisense, Germany)。每次测定前,小心取出菖蒲待测根,拉直后固定在小型支架上,然后操纵装置将溶氧微电极定位到根测定部位表面处,再将实验盆内表层沉积物小心覆盖测定根,覆盖厚度1cm,稳定30min^[13],然后操纵溶氧微电极反向位移,记录位移距离(程序自动记录),操纵溶氧微电极反向位移20μm/次,测定根际表面以上径向溶氧浓度,待溶氧浓度为零时停止测定,此时反向位移距离即为根系氧扩散层厚度。

1.4 试验用的沉积物特性

菖蒲幼苗、成株测定时(7月3日、27日)用于覆盖测定根的沉积物均为实验盆内表层底泥,在进行理化性质分析后得知,两者基本无差异(表1)。

表1 沉积物理化性质比较

Table 1 The comparison of sediment physical and chemical properties

时间 Time (月-日)	pH	Eh /mV	总氮 TN/%	总磷 TP/%	有机质 OM /%	孔隙率 Porosity/%	含水率 Water content/%
07-03	7.15	-187	0.39	0.15	3.99	76.56	54.11
07-27	7.17	-192	0.37	0.15	3.92	76.23	53.89

1.5 菖蒲叶片叶绿素光化荧光参数的测定

7月3日、7月27日7:00,使用水下饱和脉冲荧光仪 DIVING PAM(德国 WALZ 公司)和数据采集软件 wincontrol 原位测定菖蒲叶片叶绿素光化荧光参数,每一重复处理随机选择1片叶片的中上部测定叶绿素荧光参数值,取3个重复的平均值作比较。叶片使用叶夹遮光处理(暗适应)5min后,打开叶夹,然后开启光强度为30 μmol 光子 m⁻²s⁻¹的光化光,照射叶片10s后,再开启饱和脉冲光(饱和脉冲光强度4000 μmol 光子 m⁻²s⁻¹,持续时间0.8s)测得光化荧光参数 Yield^[15]。Yield表示在照光下PSⅡ的实际光化学效率,反映吸收的光子供给PSⅡ反应中心的效率,在低光强下,实际光化学效率的高低直接决定叶片光合速率的高低^[16]。

1.6 统计分析

采用 SPSS 13.0 统计软件对实验数据进行处理和分析。菖蒲幼苗、成株的生长指标,根系每个测定点在菖蒲不同生长阶段、不同光照条件下以及各个测定点之间的氧饱和度、氧扩散层厚度差异采用单因素方差分析(one way ANOVA)和 Tukey 多重比较的统计方法,极显著水平设置为 α=0.01、显著性水平设置为 α=

0.05。采用 Microsoft Excel 软件制作图表。

2 结果与分析

2.1 菖蒲幼苗、成株长势及光合作用能力比较

菖蒲幼苗、成株长势见表 2, 菖蒲成株株高、叶宽、平均根长、根直径均显著高于菖蒲幼苗 ($P < 0.01$); 从根系发育上看 (图 1), 菖蒲幼苗根系不同部位根直径差异较小, 具体表现为根 $1/4 \approx$ 根 $1/2 >$ 根 $3/4 \approx$ 根 1 ($P < 0.05$, $P > 0.05$), 而菖蒲成株则差异较大, 表现为根 $1/4 >$ 根 $1/2 >$ 根 $3/4 >$ 根 1 ($P < 0.05$); 由表 2 还可知, 菖蒲幼苗、成株叶片 yield 值无显著差异 ($P > 0.05$), 表明二者叶片光合速率无显著差异。

表 2 菖蒲幼苗和成株长势及光合作用能力

Table 2 Plant growth and chlorophyll fluorescence parameters of *A. calamus* seedling and adult *A. calamus* plant

	平均株高/cm Average plant height	平均叶宽/cm Average blade width	平均根长/cm Average root length	平均根直径/cm Average root diameter	Yield
菖蒲幼苗 <i>A. calamus</i> seedling	14.85±1.23	0.47±0.12	5.90±0.90	0.05±0.01	0.769±0.041
菖蒲成株 Adult <i>A. calamus</i> plant	61.30±2.78	1.21±0.18	11.20±2.20	0.10±0.01	0.787±0.025

2.2 生长阶段对菖蒲根系泌氧影响

如图 2, 无论有无光照, 除根 $1/4$ 处外, 其余根不同部位氧扩散能力菖蒲成株较幼苗均显著增强 ($P < 0.01$), 遮光处理组增强幅度弱于照光处理组。遮光处理时, 幼苗根 $1/2$ 、根 $3/4$ 、根 1 处氧扩散层厚度、最大氧饱和度由 0.3、0.28、0.24mm 和 3.5%、4.0%、3.1% 增加到成株的 0.38、0.34、0.36mm 和 21.5%、12.5%、11.6%, 照光处理时, 幼苗根 $1/2$ 、根 $3/4$ 、根 1 处氧扩散层厚度、最大氧饱和度由 0.4、0.32、0.26mm 和 6.4%、3.6%、4.1% 增加到 0.68、0.52、0.46mm 和 42.9%、22.5%、10.2%。而在照光、遮光处理时, 菖蒲幼苗根 $1/4$ 处氧扩散层厚度、最大氧饱和度与菖蒲成株相比无显著差异 ($P > 0.05$)。

2.3 光照对菖蒲幼苗根系泌氧影响

氧扩散层厚度及氧饱和梯度可直接反映根系泌氧能力^[17], 如图 2, 无论有无光照, 菖蒲幼苗根系不同部位均存在从根表面至沉积物氧饱和度由高到低的氧扩散层, 照光条件下氧扩散层厚度为 0.26—0.40mm, 最大氧饱和度为 6.4%; 遮光条件下氧扩散层厚度为 0.24—0.30mm, 最大氧饱和度为 4.1%。

如图 2、图 3, 光照对菖蒲幼苗根系不同部位氧扩散能力的影响存在差异, 照光处理根 $1/2$ 处氧扩散能力显著强于遮光处理 ($P < 0.01$), 氧扩散层厚度及最大氧饱和度分别为 0.40mm 和 6.4%, 为遮光处理的 1.18 倍和 1.83 倍; 而菖蒲幼苗根 $1/4$ 、根 $3/4$ 、根 1 处, 照光处理与遮光处理相比, 氧扩散能力则无显著性差异 ($P > 0.05$)。

从根系泌氧空间差异上看 (图 2, 图 3, 表 3), 照光处理时, 菖蒲幼苗具体表现为根 $1/2 >$ 根 $3/4 \approx$ 根 $1 \approx$ 根 $1/4$ ($P < 0.01$, $P > 0.05$), 而遮光处理时, 菖蒲幼苗根系不同部位氧扩散能力则无显著性差异 ($P > 0.05$)。

2.4 光照对菖蒲成株根系泌氧影响

如图 2, 无论有无光照, 菖蒲成株根系不同部位均存在从根表面至沉积物氧饱和度由高到低的氧扩散层, 照光条件下氧扩散层厚度为 0.18—0.68mm、最大氧饱和度为 42.9%, 遮光条件下氧扩散层厚度为 0.22—0.38mm、最大氧饱和度为 21.5%。

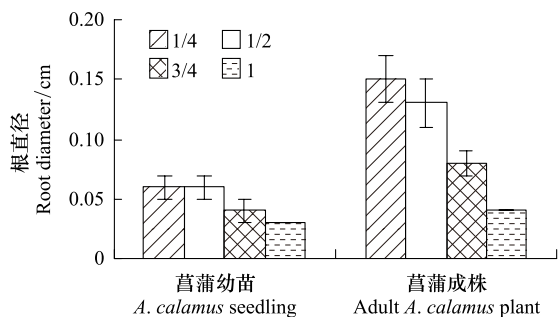


图 1 菖蒲幼苗、成株根不同部位直径

Fig. 1 The diameter of different root parts of *A. calamus* seedling and adult *A. calamus* plant

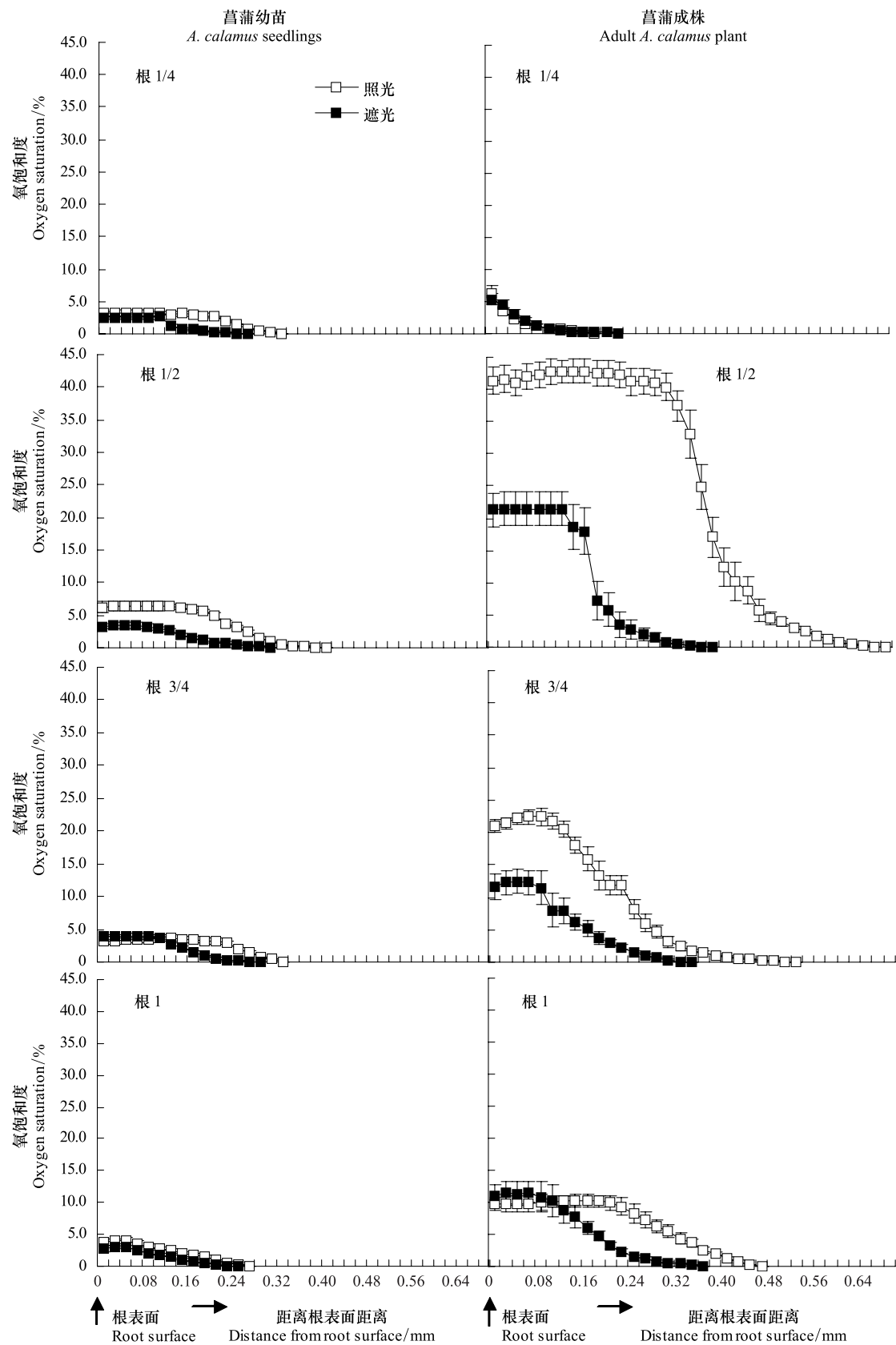


图2 光照对菖蒲幼苗、成株根不同部位氧扩散能力的影响

Fig. 2 The influence of light on oxygen diffusion capacity in different root part of *A. calamus* seedling and adult *A. calamus* plant

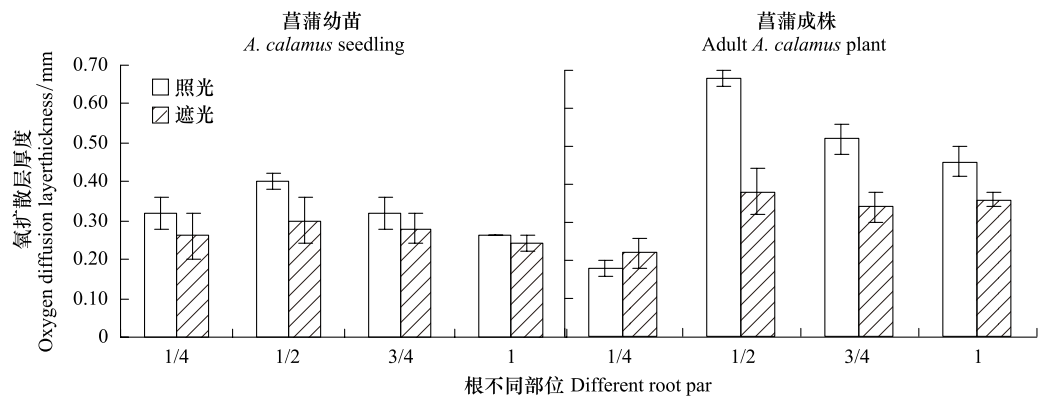


图3 光照对菖蒲幼苗、成株根不同部位氧扩散层厚度的影响

Fig. 3 The influence of light on oxygen diffusion layer thickness in different root part of *A. calamus* seedling and adult *A. calamus* plant

表3 光照对菖蒲幼苗、成株根不同部位氧扩散能力差异性影响

Table 3 The influence of light on significant differences of oxygen diffusion capacity in different root part of *A. calamus* seedling and adult *A. calamus* plant

生长阶段 Growth stage	处理 Treatment	根不同部位 Different root part	根 Root 1/4	根 Root 1/2	根 Root 3/4	根 Root 1
菖蒲幼苗 <i>A. calamus</i> seedlings	照光 Light	根 Root 1/4	—	* *	NS	NS
		根 Root 1/2		—	* *	* *
		根 Root 3/4			—	NS
		根 Root 1				—
	遮光 Dark	根 Root 1/4	—	NS	NS	NS
		根 Root 1/2		—	NS	NS
		根 Root 3/4			—	NS
		根 Root 1				—
菖蒲成株 Adult <i>A. calamus</i> plant	照光 Light	根 Root 1/4	—	* *	* *	* *
		根 Root 1/2		—	* *	* *
		根 Root 3/4			—	* *
		根 Root 1				—
	遮光 Dark	根 Root 1/4	—	* *	* *	* *
		根 Root 1/2		—	* *	* *
		根 Root 3/4			—	NS
		根 Root 1				—

* * : 根系不同部位氧扩散能力差异极显著 ($P<0.01$) ; NS: 无显著差异 ($P>0.05$)

如图2、图3,光照对菖蒲成株根系不同部位氧扩散能力影响存在差异,光照处理根1/2、根3/4处氧扩散能力显著强于遮光处理($P<0.01$),根1/2处氧扩散层厚度及最大氧饱和度分别为0.68mm和42.9%,为遮光处理的1.79倍和2倍,根3/4处氧扩散层厚度及最大氧饱和度分别为0.52mm和22.5%,为遮光处理的1.53倍和1.8倍;根1/4、根1处,光照处理与遮光处理相比氧扩散能力则无显著性差异($P>0.05$)。

从根系泌氧空间差异上看(图2,图3,表3),光照处理时,菖蒲成株氧扩散能力具体表现为根1/2>根3/4>根1>根1/4($P<0.01$),氧扩散层厚度及最大氧饱和度分别为0.68、0.52、0.46、0.18mm和42.9%、22.5%、10.2%、6.4%;遮光处理时,菖蒲成株氧扩散能力具体表现为根1/2>根3/4≈根1>根1/4($P<0.01$, $P>0.05$),氧扩散层厚度及最大氧饱和度分别为0.38、0.34、0.36、0.22mm和21.5%、12.5%、10.6%、5.3%。

3 讨论

已有研究表明,在白天,湿地植物茎叶的光合作用放氧是植物体内氧的最重要的供给机制,茎叶生物量及

光合作用效率决定植株的光合产氧量及通气量^[3], 植株光合作用产生的氧气, 一部分直接释放到空气或水中, 一部分供自身呼吸作用消耗, 还有一部分通过植物的通气组织向下输送到根系, 并经由根系向底泥中释放, 而在夜间光合作用无法进行时, 植物茎叶的气体交换作用则能将大气中的氧气通过植物叶表面、茎秆等的孔隙进入植物体内, 供植株呼吸或输送释放到底泥以维持根区的氧化状态^[18-20], 这也与实验中, 无论有无光照, 菖蒲幼苗、成株根系不同部位均存在从根表面至沉积物氧饱和度由高到低的氧扩散层的结果相一致。

实验结果发现, 在菖蒲幼苗、成株叶片光合速率无显著差异的情况下, 无论有无光照, 除根 1/4 处外, 其余根不同部位氧扩散能力菖蒲成株较幼苗均显著增强 ($P < 0.01$), 这主要与茎叶光合作用、通气作用面积显著增加有关, 菖蒲成株株高、叶宽均显著高于菖蒲幼苗 ($P < 0.01$) (表 2), 此外, 根系泌氧还与根系生物量密切相关^[21], 菖蒲成株平均根长、根直径均显著高于菖蒲幼苗 ($P < 0.01$) (表 2), 根系泌氧面积显著增加。而菖蒲幼苗根 1/4 处氧扩散层厚度、最大氧饱和度与菖蒲成株相比无显著差异 ($P > 0.05$) 则可能与根基产生泌氧屏障 (ROL barrier) 有关, 湿地植物在缺氧的底质环境中, 植物为了保证氧气能够扩散到根尖区域, 在根基区产生泌氧屏障^[1], 通常在根表和皮层之间存在若干层厚壁细胞, 避免大量的氧气在运输过程中通过根轴向沉积物扩散, 并有利于抑制沉积物中过量的有毒物质通过根被植物吸收, 起到脱毒作用, 根系表现出根基部泌氧较根其它部位明显减少, 且趋于稳定^[22]。

光照增强了植物的光合作用和蒸腾作用^[23-24], 蒸腾作用增强了植物内部的高湿度, 同时加大了湿度诱导的压强梯度和加快了气体从大气中进入植物体内。植物体内温度升高, 提高了热力学诱导渗透作用, 加快了气体对流速度, 而这些均可以增加根系泌氧量^[24], 实验结果也发现, 菖蒲幼苗根 1/2 处、菖蒲成株根 1/2、根 3/4 处氧扩散能力照光处理显著高于遮光处理 ($P < 0.01$), 但照光对菖蒲幼苗、成株根其它部位氧扩散能力则无显著性影响 ($P > 0.05$), 根基 (根 1/4 处) 泌氧屏障能有效减弱光照对其泌氧影响, 而根尖 (根 1 处) 照光处理与遮光处理氧扩散能力无显著差异则可能与植物的夜间生长机制有关, 有研究表明植物在夜间依然能保持较高的生长速率^[25], 为此植株夜间可能通过给根尖供氧, 保持适宜的氧饱和度促进细胞分裂伸长、保持呼吸作用和代谢速率。照光对菖蒲幼苗根 3/4 处泌氧无影响则可能与菖蒲幼苗根系尚在发育阶段、根 3/4 处具有根尖 (根 1 处) 的相关功能有关, 实验结果也表明其根直径 (0.04cm) 与根 1 处 (0.03cm) 相比无显著差异 (图 1)。

从根系泌氧空间差异上看, 照光条件下菖蒲幼苗、成株分别表现为根 1/2 > 根 3/4 ≈ 根 1 ≈ 根 1/4 ($P < 0.01$, $P > 0.05$) 和根 1/2 > 根 3/4 > 根 1 > 根 1/4 ($P < 0.01$), 遮光条件下菖蒲幼苗、成株分别表现为根 1/2 ≈ 根 3/4 ≈ 根 1 ≈ 根 1/4 ($P > 0.05$) 和根 1/2 > 根 3/4 ≈ 根 1 > 根 1/4 ($P < 0.01$, $P > 0.05$)。除根 1/4 处泌氧能力最小主要与其产生泌氧屏障相关外, 根其它部分空间差异可能与根系生物量差异有关, 通过对不同部位根系直径发育情况分析发现 (图 1), 作为根茎型植物的菖蒲, 其根系靠近基部部分直径显著高于靠近根尖部分, 菖蒲成株根 1/2、3/4、根 1 的直径为根 1/4 的 86.7%、53.3%、26.7% (图 1), 导致靠近根尖处根系泌氧面积显著下降, 进而影响根系泌氧扩散范围, 通过对菖蒲幼苗、成株在照光、遮光条件下根 1/2、根 3/4、根 1 处最大氧饱和度与根直径进行相关性分析后发现 (图 4), 菖蒲成株在照光、遮光条件下均呈显著正相关, 而菖蒲幼苗在照光条件下呈正相关, 遮光条件下不相关, 表明根系泌氧能力越强, 根系泌氧空间差异受根系生物量差异影响就越显著, 相反, 根系生物量差异将不会导致根系泌氧空间差异, 如菖蒲幼苗在遮光条件下根系不同部位氧扩散能力无显著性差异 ($P > 0.05$)。

4 结论

无论有无光照, 菖蒲幼苗、成株根系不同部位均存在从根表面至沉积物氧饱和度由高到低的氧扩散层, 氧扩散层厚度在 0.18—0.68mm 间变化; 根 1/2、3/4、1 处氧扩散能力菖蒲成株较幼苗显著增强 ($P < 0.01$), 根 1/4 处二者则无显著差异 ($P > 0.05$); 光照对菖蒲幼苗、成株根系不同部位氧扩散能力的影响存在差异, 光照对菖蒲幼苗根 1/2 及菖蒲成株根 1/2、根 3/4 处影响显著 (照光组显著高于遮光组, $P < 0.01$), 而对菖蒲幼苗根 1/4、根 3/4、根 1 及菖蒲成株根 1/4、根 1 处无显著影响 ($P > 0.05$); 从根系泌氧空间差异上看, 照光条件下菖

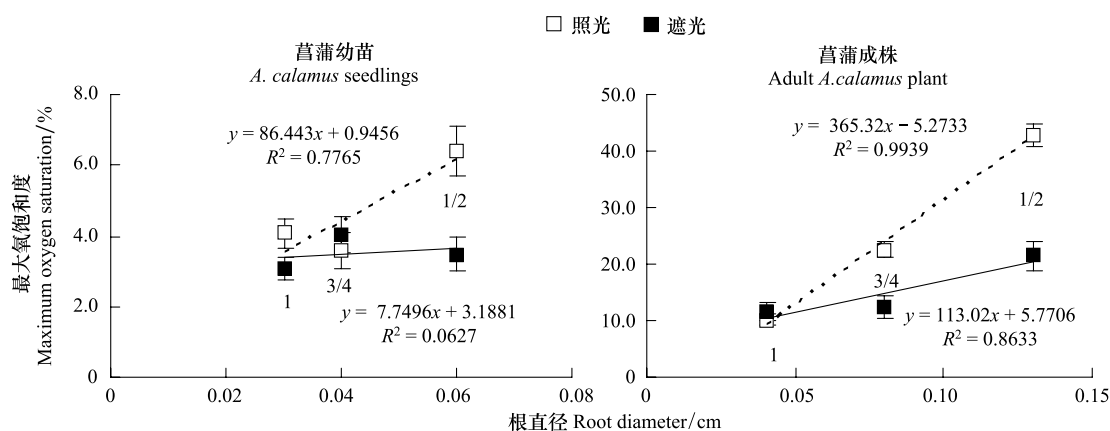


图4 菖蒲幼苗、成株在光照、遮光条件下根1/2、根3/4、根1处最大氧饱和度与根直径的相关性

Fig. 4 Correlation between maximum oxygen saturation and root diameter in root 1/2, 3/4, 1 of *A. calamus* seedling and adult *A. calamus* plant under light or dark condition

蒲幼苗、成株分别表现为根1/2>根3/4≈根1≈根1/4 ($P<0.01$, $P>0.05$) 和根1/2>根3/4>根1>根1/4 ($P<0.01$), 遮光条件下菖蒲幼苗、成株分别表现为根1/2≈根3/4≈根1≈根1/4 ($P>0.05$) 和根1/2>根3/4≈根1>根1/4 ($P<0.01$, $P>0.05$)。

References:

- [1] Armstrong W. Aeration in higher plants. *Advances in Botanical Research*, 1979 (7): 225-332.
- [2] Gilbert B, Fenzel P. Rice roots and methane oxidation; the activity of bacteria, their distribution and the microenvironment. *Soil Biology and Biochemistry*, 1998, 30: 1903-1916.
- [3] Visser E J W, Comler T D, Blom C P W M, et al. Changes in growth, porosity, and radial oxygen loss from adventitious roots of selected mono- and dicotyledonous wetland species with contrasting types of aerenchyma. *Plant, Cell and Environment*, 2000, 23: 1237-1245.
- [4] Mendelssohn I A, Kleiss B A, Wakeley S. Factors controlling the formation of oxidized root channels: a review. *Wetlands*, 1995, 15: 37-46.
- [5] Hansel C M, Fendorf S, Sutton S. Characterization of Fe plaque and associated metals on the roots of Mine-waste impacted aquatic plants. *Environmental Science and Technology*, 2001, 35: 3863-3868.
- [6] Armstrong J, Armstrong W, Beckett P M. *Phragmites australis*: Venturi- and humidity-induced convections enhance rhizome aeration and rhizosphere oxidation. *New Phytologist*, 1992, 120: 197-207.
- [7] Connell E L, Colmer T D, Walker D I. Radial oxygen loss from intact roots of *Halophila ovalis* as a function of distance behind the root tip and shoot illumination. *Aquatic Botany*, 1999, 63(3): 219-228.
- [8] Flessa H. Plant-induced changes in the redox potential of the rhizosphere of the submerged vascular macrophytes *Myriophyllum verticillatum* L. and *Ranunculus circinatus*. *Aquatic Botany*, 1994, 47: 119-129.
- [9] Waters I, Armstrong W, Thompson C J. Diurnal changes in radial oxygen loss and ethanol metabolism in roots of submerged and non-submerged rice seedlings. *New Phytologist*, 1989, 113(4): 439-451.
- [10] Inoue T M, Tsuchiya T. Interspecific differences in radial oxygen loss from the roots of three *Typha* species. *Limnology*, 2008, 9(3): 207-211.
- [11] Deng H, Ye Z H, Huang M H. Characteristics of radial oxygen loss from root of wetland plants. *Journal of East China Normal University (Natural Science)*, 2007, 6: 69-76.
- [12] Sand-Jensen K, Revsbech N P, Barker Jørgensen B. Microprofiles of oxygen in epiphyte communities on submerged macrophytes. *Marine Biology*, 1985, 89(1): 55-62.
- [13] Laskov C, Horn O, Hupfer M. Environmental factors regulating the radial oxygen loss from roots of *Myriophyllum spicatum* and *Potamogeton crispus*. *Aquatic Botany*, 2006, 84(4): 333-340.
- [14] Lu D M. *Hydrophytic Biology of Freshwater*. Suzhou: Suzhou University Press, 2002. 46.
- [15] Bilger W, Björkman O. Role of the xanthophyll cycle in photoprotection elucidated by measurements of light induced absorbance changes, fluorescence and photosynthesis in leaves of *Hedera canariensis*. *Photosynth Res*, 1990, 25: 173-185.
- [16] Schreiber U, Bilger W, Neubauer C. Chlorophyll fluorescence as a noninvasive indicator for rapid assessment of in vivo photosynthesis. *Ecol*

Studies, 1994, 100: 49-70.

- [17] Colmer T D. Long-distance transport of gases in plants: a perspective on internal aeration and radial oxygen loss from roots. *Plant Cell and Environment*, 2003, 26(1): 17-36.
- [18] Woolhouse H W W. *Advances in Botanical Research*, Vol. 7 London: Academic Press 1979, 225-332.
- [19] Grosse W, Buchel H B, Tiebel H. Pressurized ventilation in wetland plants. *Aquatic Botany*, 1991, 39: 89-98.
- [20] Brix H, Sorrell B K, Orr P T. Internal pressurization and convective gas flow in some emergent freshwater macrophytes. *Limnol. Oceanogr*, 1992, 37: 1420-1433.
- [21] Cheng S P, Wu Z B, Xia Y C. Review on gas exchange and transportation in macrophytes. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2003, (4): 413-417.
- [22] Armstrong J, Armstrong W. Rice and Phragmites: Effects of organic acids on growth root permeability and radial oxygen loss to the rhizosphere. *American Journal of Botany*, 2001, 88: 1359-1370.
- [23] Caffrey J M, Kemp W M. Seasonal and spatial patterns of oxygen production, respiration and root rhizome release in *potamogeton-perfoliatus* L and *zostera-marina* L. *Aquatic Botany*, 1991, 40(2): 109-128.
- [24] Frenzel P, Rothfuss F, Conrad R. Oxygen profiles and methane turnover in a flooded rice microcosm. *Biology and Fertility of Soils*, 1992, 14(2): 84-89.
- [25] Shimizu H, Heins R D. Computer-vision-based system for plant growth analysis. *Transactions of the ASAE*, 1995, 38(3): 959-964.

参考文献:

- [11] 邓泓, 叶志鸿, 黄铭洪. 湿地植物根系泌氧的特征. *华东师范大学学报(自然科学版)*, 2007, 6: 69-76.
- [14] 卢德敏. 淡水生物学. 苏州: 苏州大学出版社, 2002. 46
- [21] 成水平, 吴振斌, 夏宜埠. 水生植物的气体交换与输导代谢. *水生生物学报*, 2003, (4): 413-417.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 12 Jun. ,2013(Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Research on the disturbance of frost damage to forests LI Xiufen, ZHU Jiaojun, WANG Qingli, et al (3563)
- Advances in salt-tolerance mechanisms of *Suaeda* plants ZHANG Aiqin, PANG Qiuying, YAN Xiufeng (3575)

Autecology & Fundamentals

- Simulation and prediction of spatial patterns of *Robinia pseudoacacia* flowering dates in eastern China's warm temperate zone
..... XU Lin, CHEN Xiaoqiu, DU Xing (3584)
- Response of leaf functional traits of *Betula ermanii* saplings to the altitudinal Variation
..... HU Qipeng, GUO Zhihua, SUN Lingling, et al (3594)
- Analysis of genetic diversity of chinese pine (*Pinus tabulaeformis*) natural secondary forest populations and correlation with theirs
habitat ecological factors LI Ming, WANG Shuxiang, GAO Baojia (3602)
- Nitrogen addition affects root growth, phosphorus and nitrogen efficiency of three provenances of *Schima superba* in barren soil
..... ZHANG Rui, WANG Yi, JIN Guoqing, et al (3611)
- Effect of enclosure on soil C mineralization and priming effect in *Stipa grandis* grassland of Inner Mongolia
..... WANG Ruomeng, DONG Kuanhu, HE Nianpeng, et al (3622)
- Effects of slope position on gas exchange characteristics of main tree species for vegetation restoration in dry-hot valley of Jingsha
River DUAN Aiguo, ZHANG Jianguo, HE Caiyun, et al (3630)
- Impacts of biodegradation on desorption of phenol adsorbed on black carbon and soil
..... HUANG Jiexun, MO Jianmin, LI Feili, et al (3639)
- Physiological and biochemical responses to different soil drought stress in three tree species
..... WU Qin, ZHANG Guangcan, PEI Bin, et al (3648)
- The ear-leaf ratio of population is related to yield and water use efficiency in the water-saving cultivation system of winter wheat
..... ZHANG Yongping, ZHANG Yinghua, HUANG Qin, et al (3657)
- Effects of ozone stress on photosynthesis, dry matter production and yield of rice under different seedling quality and plant density ...
..... PENG Bin, LI Panlin, ZHOU Nan, et al (3668)
- Effects of water and nitrogen under root restriction on photosynthetic characters of cotton plants grown with under-mulch drip
irrigation TAO Xianping, LUO Honghai, ZHANG Yali, et al (3676)
- The influence of light and growth stage on oxygen diffusion capacity of *Acorus calamus* roots
..... WANG Wenlin, WANG Guoxiang, WAN Yinjing, et al (3688)
- Isolation, screening and characterization of phytopathogen antagonistic endophytes from wild *Artemisia argyi*
..... XU Yajun, ZHAO Longfei, CHEN Pu, et al (3697)
- Performance of the two host-biotypes of *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) on different cucurbitaceous host plants
..... XIAO Yunli, YIN Xiangchu, LIU Tongxian (3706)
- The effects of gender and temperature on the wintering behavior of Chinese merganser
..... ZENG Binbin, SHAO Mingqin, LAI Hongqing, et al (3712)

Population, Community and Ecosystem

- Assessment indicators system of forest ecosystem health based on the disturbance in Wangqing forestry
..... YUAN Fei, ZHANG Xingyao, LIANG Jun (3722)
- Heterogeneity evaluation of forest ecological system spatial structure in Dongting Lake
..... LI Jianjun, LIU Shuai, ZHANG Huiru, et al (3732)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Climate-growth relationships of *Abies faxoniana* from different elevations at Miyaluo, western Sichuan, China
..... XU Ning, WANG Xiaochun, ZHANG Yuandong, et al (3742)

- Spatial-temporal distribution of net primary productivity and its relationship with climate factors in Inner Mongolia from 2001 to 2010 MU Shaojie, LI Jianlong, ZHOU Wei, et al (3752)
- Influences of topographic features on the distribution and evolution of landscape in the coastal wetland of Yancheng
..... HOU Minghang, LIU Hongyu, ZHANG Huabing, et al (3765)
- Vegetation landscape pattern change and characteristics of spatial distribution in south edge of Mu Us Sandy Land
..... ZHOU Shuqin, JING Yaodong, ZHANG Qingfeng, et al (3774)
- Climate change recorded mainly by pollen from baixian lake during the last 5.5kaB. P.
..... DU Rongrong, CHEN Jing'an, ZENG Yan, et al (3783)
- Characteristics of temperature field, humidity field and their eco-environmental effects in spring in the typical valley-city
..... LI Guodong, ZHANG Junhua, WANG Naiang, et al (3792)
- Spatial and temporal variation of surface water vapor over northern and southern regions of Qinling Mountains
..... JIANG Chong, WANG Fei, YU Xiaoyong, et al (3805)
- Spatial variation of landscape eco-risk in open mine area WU Jiansheng, QIAO Na, PENG Jian, et al (3816)
- The comparison of ecological geographica regionlization in China based on Holdridge and CCA analysis
..... KONG Yan, JIANG Hong, ZHANG Xiuying, et al (3825)
- Resource and Industrial Ecology**
- Agricultural eco-efficiency evaluation in China based on SBM model PAN Dan, YING Ruiyao (3837)
- The emergy analysis of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) aquaculture system around Dongji island in Zhoushan
..... SONG Ke, ZHAO Sheng, CAI Huiwen, et al (3846)
- Optimum stripe arrangement for inter-cropping and mixed-cropping of different maize (*Zea mays* L.) genotypes
..... ZHAO Yali, KANG Jie, LIU Tianxue, et al (3855)
- Effects of climate and soil on the carotenoid and cuticular extract content of cured tobacco leaves
..... CHEN Wei, XIONG Jing, CHEN Yi, et al (3865)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- Carbon sequestration and oxygen release as well as cooling and humidification efficiency of the main greening tree species of
Sha River, Chengdu ZHANG Yanli, FEI Shimin, LI Zhiyong, et al (3878)

《生态学报》2013 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,300 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 吴文良

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 12 期 (2013 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 12 (June, 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

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元