

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

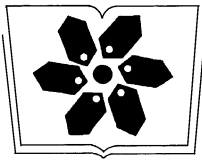
Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 13 期 Vol.33 No.13 **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 13 期 2013 年 7 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 强度干扰后退化森林生态系统中保留木的生态效应研究综述..... 缪 宁,刘世荣,史作民,等 (3889)
- AM 真菌对重金属污染土壤生物修复的应用与机理..... 罗巧玉,王晓娟,林双双,等 (3898)

个体与基础生态

- 东灵山不同林型五角枫叶性状异速生长关系随发育阶段的变化..... 姚 婧,李 颖,魏丽萍,等 (3907)
- 不同温度下 CO₂ 浓度增高对坛紫菜生长和叶绿素荧光特性的影响..... 刘 露,丁柳丽,陈伟洲,等 (3916)
- 基于 LULUCF 温室气体清单编制的浙江省杉木林生物量换算因子..... 朱汤军,沈楚楚,季碧勇,等 (3925)
- 土壤逐渐干旱对菖蒲生长及光合荧光特性的影响..... 王文林,万寅婧,刘 波,等 (3933)
- 一株柠条内生解磷菌的分离鉴定及实时荧光定量 PCR 检测..... 张丽珍,冯利利,蒙秋霞,等 (3941)
- 一个年龄序列巨桉人工林植物和土壤生物多样性..... 张丹桔,张 健,杨万勤,等 (3947)
- 不同饵料和饥饿对魁蚶幼虫生长和存活的影响..... 王庆志,张 明,付成东,等 (3963)
- 禽畜养殖粪便中多重抗生素抗性细菌研究..... 祁诗月,任四伟,李雪玲,等 (3970)
- 链状亚历山大藻赤潮衰亡的生理调控..... 马金华,孟 希,张 淑,等 (3978)
- 基于环境流体动力学模型的浅水草藻型湖泊水质数值模拟..... 李 兴,史洪森,张树礼,等 (3987)

种群、群落和生态系统

- 干旱半干旱地区围栏封育对甘草群落特征及其分布格局的影响..... 李学斌,陈 林,李国旗,等 (3995)
- 宁夏六盘山三种针叶林初级净生产力年际变化及其气象因子响应..... 王云霓,熊 伟,王彦辉,等 (4002)
- 半干旱黄土区成熟柠条林地土壤水分利用及平衡特征..... 莫保儒,蔡国军,杨 磊,等 (4011)
- 模拟酸沉降对鼎湖山季风常绿阔叶林地表径流水化学特征的影响..... 丘清燕,陈小梅,梁国华,等 (4021)
- 基于改进 PSO 的洞庭湖水源涵养林空间优化模型..... 李建军,张会儒,刘 帅,等 (4031)
- 外来植物火炬树水浸液对土壤微生物生态系统的化感作用..... 侯玉平,柳 林,王 信,等 (4041)
- 崇明东滩抛荒鱼塘的自然演替过程对水鸟群落的影响..... 杨晓婷,牛俊英,罗祖奎,等 (4050)
- 三峡水库蓄水初期鱼体汞含量及其水生食物链累积特征..... 余 杨,王雨春,周怀东,等 (4059)
- 元江鲤种群遗传多样性..... 岳兴建,邹远超,王永明,等 (4068)

景观、区域和全球生态

- 中国西北干旱区气温时空变化特征..... 黄 蕊,徐利岗,刘俊民 (4078)
- 集水区尺度下东北东部森林土壤呼吸的模拟..... 郭丽娟,国庆喜 (4090)
- 增氮对青藏高原东缘高寒草甸土壤甲烷吸收的早期影响..... 张裴雷,方华军,程淑兰,等 (4101)
- 基于生态系统服务的广西水生态足迹分析..... 张 义,张合平 (4111)
- 深圳市景观生态安全格局源地综合识别..... 吴健生,张理卿,彭 建,等 (4125)

庐山风景区碳源、碳汇的测度及均衡..... 周年兴,黄震方,梁艳艳 (4134)

气候变化对内蒙古中部草原优势牧草生长季的影响 李夏子,韩国栋,郭春燕 (4146)

民勤荒漠区典型草本植物马蔺的物候特征及其对气候变化的响应..... 韩福贵,徐先英,王理德,等 (4156)

血水草生物量及碳贮量分布格局..... 田大伦,闫文德,梁小翠,等 (4165)

5 种温带森林生态系统细根的时间动态及其影响因子 李向飞,王传宽,全先奎 (4172)

资源与产业生态

干旱胁迫下 AM 真菌对矿区土壤改良与玉米生长的影响..... 李少朋,毕银丽,陈咄圳,等 (4181)

城乡与社会生态

上海环城林带保健功能评价及其机制..... 张凯旋,张建华 (4189)

研究简报

北京山区侧柏林林内降雨的时滞效应 史 宇,余新晓,张佳音 (4199)

采伐剩余物管理措施对二代杉木人工林土壤全碳、全氮含量的长期效应
..... 胡振宏,何宗明,范少辉,等 (4205)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 326 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 35 * 2013-07



封面图说: 岳阳附近的水源涵养林及水系鸟瞰——水源涵养林对于调节径流,减缓水、旱灾害,合理开发利用水资源具有重要的生态意义。洞庭湖为我国第二大淡水湖,南纳湘、资、沅、澧四水,北由岳阳城陵矶注入长江,是长江上最重要的水量调节湖泊。因此,湖周的水源涵养林建设对于恢复洞庭湖调节长江中游地区洪水的功能,加强湖区生物多样性的保护是最为重要的举措之一。对现有防护林采取人为干扰的调控措施,改善林分空间结构,将有利于促进森林生态系统的正向演替,为最大程度恢复洞庭湖水源林生态功能和健康经营提供重要支撑。

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/stxb201210301506

王文林, 万寅婧, 刘波, 王国祥, 唐晓燕, 陈昕, 梁斌, 庄巍. 土壤逐渐干旱对菖蒲生长及光合荧光特性的影响. 生态学报, 2013, 33(13): 3933-3940.
Wang W L, Wan Y J, Liu B, Wang G X, Tang X Y, Chen X, Liang B, Zhuang W. Influence of soil gradual drought stress on *Acorus calamus* growth and photosynthetic fluorescence characteristics. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(13): 3933-3940.

土壤逐渐干旱对菖蒲生长及光合荧光特性的影响

王文林^{1,2}, 万寅婧³, 刘波^{1,4}, 王国祥^{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,
4. 南通大学地理科学学院, 南通 226007)

摘要: 在土壤逐渐干旱过程中, 连续测定典型湿地植物菖蒲生长发育状况及叶片叶绿素荧光参数, 结果表明: 短期内 (实验第 0—3 天) 土壤水分含量下降 (土壤含水率自 53.86% 下降至 42.6%) 有利于菖蒲生长, 干旱组菖蒲叶片 F_v/F_m 、Yield、 qP 显著高于对照组 (实验期间土壤平均含水率为 $53.49 \pm 0.6\%$) ($P < 0.05$), qN 则低于对照组; 随着土壤进一步干旱 (土壤含水率自 42.6% 下降至 18.02%, 实验第 3—9 天), 菖蒲叶片 qN 值则由 0 迅速上升至 0.403, 显著高于对照组 ($P < 0.05$), F_v/F_m 值与对照相比无显著差异 ($P > 0.05$), 叶片保持较高的热耗散以维持光合结构 PS II 保持正常, 并能以降低叶片含水率、叶面积 (叶片卷曲避光) 减少水分蒸腾及降低根系含水率促进水分吸收的方式进行自我保护; 随着土壤干旱程度加剧 (土壤含水率自 18.02% 下降至 4.5%、实验第 9—12 天), 菖蒲叶片 F_v/F_m 、Yield、 qP 值显著低于对照组 ($P < 0.05$), qN 值降为 0, 光合结构 PS II 受到损坏, 第 11 天、12 天, 叶片含水率分别降至 75.79% 和 68.78%, 此时菖蒲也逐步以自小叶片至大叶片的顺序枯萎衰亡, 表明在土壤水分快速下降过程中过高的生物量将不利于菖蒲保持水分, 而 80% 左右的叶片含水率是维持菖蒲存活的临界值。

关键词: 土壤逐渐干旱; 菖蒲; 生长; 光合荧光

Influence of soil gradual drought stress on *Acorus calamus* growth and photosynthetic fluorescence characteristics

WANG Wenlin^{1,2}, WAN Yinjing³, LIU Bo^{1,4}, WANG Guoxiang^{1,*}, 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

4 School of Geography Science, Nantong University, Nantong 226007, China

Abstract: In the process of soil gradual drought, the growth of typical wetland plant *Acorus calamus* in dry condition and control condition were investigated. The soil water contents of dry group were about 55% (0th day), 40% (3th day), 30% (6th day), 20% (9th day), 10% (11th day) and 5% (12th day) and average soil water content of the control group was (53.49 ± 0.6)% during the experiment period. Meanwhile, Photosystem II (PS II) photochemical efficiency (F_v/F_m), quantum yield (Yield), photochemical quenching (qP), non-photochemical quenching (qN) were also measured by a submersible, pulse-amplitude modulated (PAM) fluorometer: Diving-PAM.

The results showed that the decline of soil water content in a short term (soil water content declined from 53.86% to

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: 2012-10-30; 修订日期: 2013-03-04

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

42.6%, on the 0th—3th day) was beneficial to the growth of dry group *Acorus calamus*. Fv/Fm , Yield, qP were much higher than those of the control group ($P < 0.05$), while qN was lower than control group. Compared with control group, average plant height, leaf width and leaf biomass, root biomass of dry group increased by 4.35%, 3.13%, 12.50%, 17.82%, respectively.

With soil becoming drought gradually (soil water content declined from 42.6% to 18.02%, on the 3th—9th day), the growth of drought group *Acorus calamus* was restrained gradually and yield and qP value began to decrease. The qN value rose from 0 to 0.403 quickly and was much higher than those of control group ($P < 0.05$). The dry group plant began to suffer from soil drought stress and presented low photo-inhibition phenomenon. High qN value detected in the study demonstrated that they could protect PS II by increasing heat dissipating. At the same time, there was no significant difference of Fv/Fm between drought group and control group, which also indicated that photosynthesis structure of PS II was unspoiled. At the same time, *Acorus calamus* plant reduced water transpiration and promoted water absorption to protect itself from soil drought pressure by reducing leaf area, leaf water content and root water content. On the 9th day, the leaf width, leaf water content and root water content of dry group declined to 89.1%, 92.5% and 95.8% of control group respectively.

With more serious soil drought degree (soil water content declined from 18.02% to 4.5%, on the 9th—12th day), the growth of dry group plant was significantly restrained. The yield and qP value decreased quickly and were much lower than those of the control group. The photosynthetic efficiency decreased significantly. Meanwhile, Fv/Fm value began to be much less than that of the control group and qN value reduced to 0, which indicated that photosynthesis structure of PS II has begun to be destroyed and the capacity of dissipating heat has disappeared. On the 11th and 12th day, leaf water content of dry group declined to 75.79% and 68.78% respectively. The small leaf began to wither and decline, followed by the big leaf. The above phenomenon indicated that high plant biomass was weak to keep plant water content in the process of soil gradual drought, 80% of leaf water content was the critical value to maintain *Acorus calamus* plant survival.

Key Words: soil gradual drought; *Acorus calamus*; growth; photosynthetic fluorescence

水分、土壤与植物是湿地生态系统三大组成要素^[1]。水分条件是湿地存在的决定性因子,也决定着湿地景观以及植被组成和分布特征。植物生长于不同水分条件时,就会对不同的水分条件产生响应,形成可以反映生境条件的生理生态特征^[2]。近年来,随着全球温室效应的加剧,湿地缺水问题日益严重,湿地植物面临的干旱胁迫也日益突出^[3-4],土壤水分条件对湿地植物生长发育的影响研究也日益受到关注^[5-9],但这些研究均在土壤水分含量的静态控制条件下进行,由于在连续干旱过程中土壤水分含量往往处于动态递减过程中,现有研究不能反映湿地植物对土壤水分的瞬时、连续变化的动态响应,目前针对湿地植物在土壤干旱过程中的动态响应机制研究还鲜见文献报道。

光合作用是植物重要的生命活动,是植物生长的生理基础,在干旱条件下,植物 CO_2 同化速率降低,光合作用消耗的光能减少,导致光合组织吸收的光能必然大量过剩,过剩光能若不能及时有效的耗散,就会损伤光合器官^[10],因此植物光合作用能力变化是反映干旱胁迫条件影响的重要指标之一^[11-12],本研究在土壤逐渐干旱过程中,连续测定典型湿地植物菖蒲生长发育状况及叶片叶绿素荧光参数,探讨菖蒲在土壤干旱过程中的动态响应机制,为湿地生态系统保育和植被恢复重建提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验土壤

实验用土壤采自南京城东一小型富营养化湖泊(32°06'10.36"N, 118°54'13.75"E)表层沉积物。(总氮 3825 mg/kg、总磷 1497 mg/kg、有机质 39577 mg/kg)。

1.2 实验植物培养

选用典型湿地植物菖蒲(*Acorus calamus*),其为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^[13]。2012年6月,在位于南京师范大学水环境生态修复平台中,选择越冬的菖蒲块茎置于实验用土壤中培养,土壤定期加水使其呈饱和状态,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。

1.3 实验设计

2012年8月10日,从已萌发的菖蒲中选择株高60cm左右、叶片数为5叶的菖蒲各21株,小心剥离根系后种植于2个1.2 m×1.2 m实验盆中,覆泥深度12cm,分别作为对照组和干旱组(实验组),并置于光照培养箱中培养,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28℃,稳定3d,稳定期间对照组与实验组均加蒸馏水使土壤水分呈饱和状态。8月13日实验正式开始,对照组土壤定期加蒸馏水使其呈饱和状态,干旱组土壤则不加水让其逐渐干旱。实验开始后每天使用HH2型土壤湿度计(Moisture Meter)测定土壤含水率,并在干旱组土壤含水率约55%(0d)、40%(3d)、30%(6d)、20%(9d)、10%(11d)及5%(12d)时测定对照组和干旱组叶片叶绿素荧光参数,并分别随机收割3株植株测定株高、叶宽,叶片、根系生物量及含水率等生长指标,实验过程中各实验组土壤含水率实际变化见表1。

表1 实验期间对照组、干旱组土壤含水率变化

Table 1 Changes of soil water content of ck and drought group during the experimental period

	含水率 Soil water content/%					
	0d	3d	6d	9d	11d	12d
对照组 Control group	54.01%	54.20%	53.37%	52.64%	53.01%	53.71%
干旱组 Drought group	53.86%	42.60%	32.51%	18.02%	9.74%	4.50%

1.4 菖蒲生长指标测定

菖蒲株高使用卷尺测定,叶宽使用游标卡尺测定,叶片、根系生物量采用称重法测定,叶片、根系含水率采用烘干称重法测定,以上各指标求平均值后进行比较。

1.5 菖蒲叶片叶绿素荧光参数测定

饱和脉冲调制(PAM)叶绿素荧光动力学技术是利用快速、无损伤探针研究植物光合作用的技术,将探头直接置于植物叶片表面可原位测定一系列光合荧光参数^[14-15]。菖蒲叶片叶绿素荧光参数在实验开始、第3天、6天、9天、11天、12天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 进行测定。每一处理随机选择3株植株顶部伸展叶片测定叶绿素荧光参数值,取平均值作比较。叶片测定部位使用叶夹遮光处理(暗适应)5min后,打开叶夹,开启测量光得到 F_o ,再开启饱和脉冲光(饱和脉冲光强度 $4000\mu\text{mol photon m}^{-2}\text{s}^{-1}$,持续时间0.8s)测得到 F_m ,得到光化学最大量子产量(F_v/F_m),然后开启光强度为 $30\mu\text{mol photon m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 的光化光,照射叶片10s后,再开启饱和脉冲光测得 F_m' 与 F_t ,按下式计算:

光化学最大量子产量^[16]

$$F_v/F_m = (F_m - F_o)/F_m$$

有效荧光产量 Yield^[16]

$$(\Delta F_v/F_m) = (F_m' - F_t)/F_m'$$

光化学淬灭系数^[17]

$$qP = (F_m' - F_t)/(F_m' - F_o)$$

非光化学淬灭系数^[17]

$$qN = (F_m - F_m')/(F_m - F_o)$$

1.6 数据分析

采用 SPSS 13.0 统计软件对土壤逐渐干旱对各指标的影响进行单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 土壤逐渐干旱对菖蒲生长影响

由图1可见,实验期间,对照组菖蒲平均株高、叶宽、生物量稳步增加,而干旱组菖蒲平均株高、叶宽、叶片生物量、根系生物量则呈先增加后降低的趋势。实验初期(第3天),干旱组菖蒲生长速度高于同期对照组,

干旱组菖蒲平均株高、叶宽、叶片生物量、根系生物量较对照组分别增加了 4.35%、3.13%、12.50%、17.82%,而后干旱组菖蒲生长开始受到抑制,第6天,干旱组菖蒲平均株高、叶宽、叶片生物量、根系生物量与对照组相比无显著差异($P>0.05$),第9天,干旱组菖蒲叶片出现卷曲现象,平均株高、叶宽、叶片生物量、根系生物量开始低于对照组,第11天,干旱组菖蒲出现枯萎现象,株高、叶宽、叶片生物量、根系生物量开始显著低于对照组($P<0.05$),第12天,干旱组菖蒲平均株高、叶宽、叶片生物量、根系生物量分别只有对照组的 90.33%、75.66%、37.83%、54.70%。表明随着土壤逐渐干旱,短期内土壤水分含量下降(土壤含水率自 53.86% 下降至 42.6%)有利于菖蒲生长,随着土壤逐渐干旱(土壤含水率自 42.6% 下降至 18.02%),菖蒲生长逐渐受到抑制,随着干旱程度进一步加剧(土壤含水率自 18.02% 下降至 4.5%),菖蒲生长受到明显抑制,并逐步以自小叶片至大叶片的顺序枯萎衰亡。

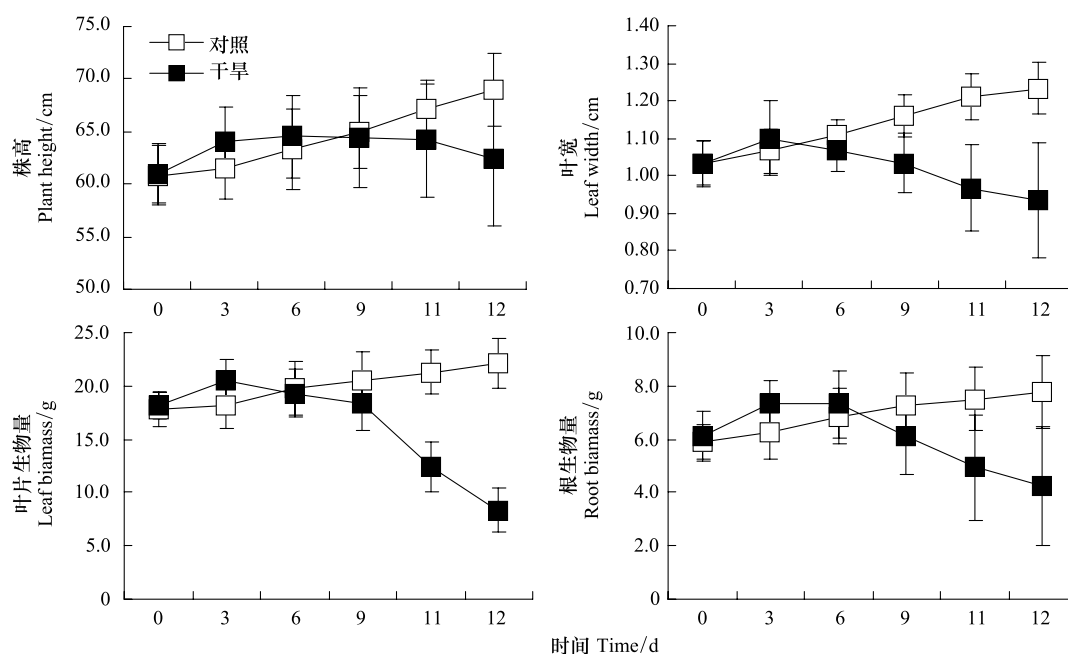


图1 实验期间菖蒲株高、叶宽及叶片、根系生物量变化

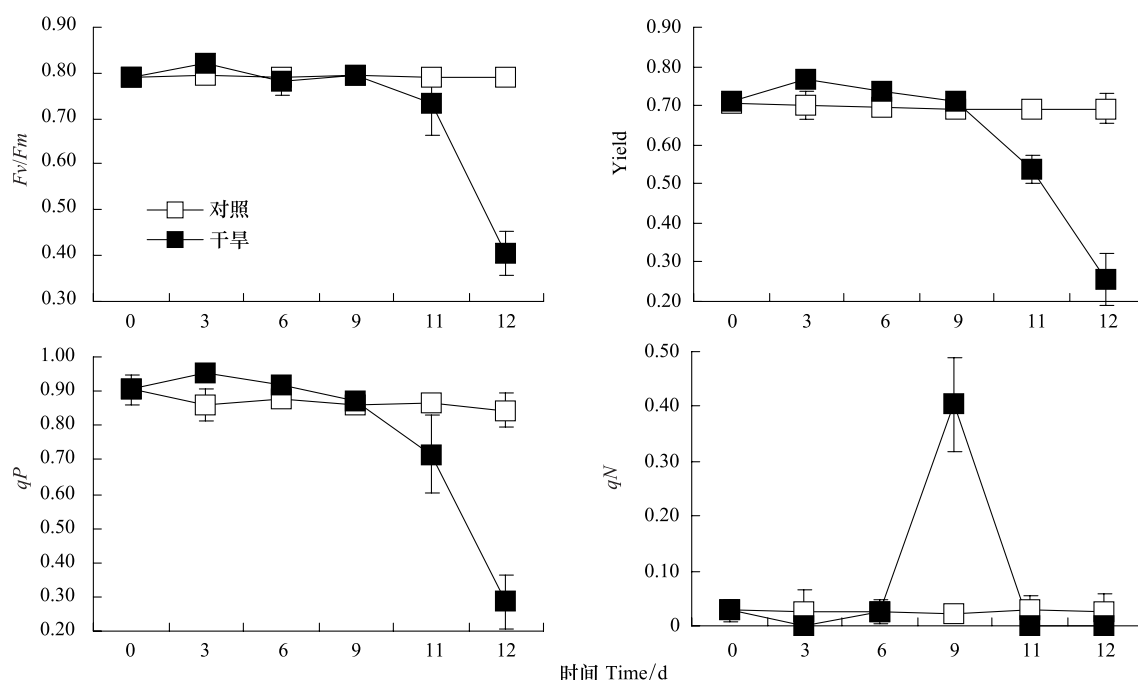
Fig. 1 Changes of plant height, leaf width and leaf, root biomass of *Acorus calamus* during the experimental period

2.2 土壤逐渐干旱对菖蒲叶绿素荧光参数的影响

菖蒲叶片最大光化学量子产量(F_v/F_m)反映了当所有的光合系统Ⅱ(PSⅡ)反应中心均处于开放态时的量子产量。由图2可见,实验期间,对照组菖蒲 F_v/F_m 无显著变化,而干旱组菖蒲 F_v/F_m 呈现先增加后降低的趋势。实验初期(第3天),干旱组菖蒲叶片 F_v/F_m 显著高于对照组($P<0.05$),第6天、9天,干旱组菖蒲叶片 F_v/F_m 较第3天显著下降,但与对照组相比则无显著性差异($P>0.05$),实验第11天、12天,则显著低于对照组($P<0.05$),较对照组分别下降了 7.29%、48.59%。

有效荧光产量(Yield)表示在照光下PSⅡ的实际光化学效率,反映植物吸收的光子供给PSⅡ反应中心的效率。由图2可见,与 F_v/F_m 变化趋势类似,实验期间对照组菖蒲叶片Yield无显著变化,而干旱组菖蒲Yield呈现先增加后降低的趋势。实验第3天,干旱组菖蒲叶片Yield显著高于对照组($P<0.05$),实验第6天,干旱组菖蒲叶片Yield开始下降但仍显著高于对照组($P<0.05$),实验第9天,与对照组相比则无显著性差异($P>0.05$),实验第11、12天,干旱组菖蒲叶片Yield显著低于对照组,分别下降了 21.32%、61.39%。

光化学淬灭系数(qP)是PSⅡ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PSⅡ中开放的反应中心比例和参与 CO_2 固定的电子减少。由图2可见,与Yield值变化一致,实验第3天、6天,干旱组菖蒲叶片 qP 均显著高于对照组($P<0.05$),实验第9天,与对照组相比则无显著性差异($P>0.05$),实验第11天、12天,干旱组菖蒲叶片 qP 开始显著低于对照组($P<0.05$),分别下降了 17.62%、66.26%。

图2 实验期间菖蒲 Fv/Fm 、Yield、 qP 、 qN 变化Fig.2 Changes of Fv/Fm , Yield, qP , qN of *Acorus calamus* during the experimental period

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部分光能,热耗散是植物保护 PS II 的重要机制。由图 2 可见,实验第 3 天、6 天,干旱组菖蒲叶片 qN 值分别为 0、0.025,低于对照组,但与对照组相比无显著性差异($P>0.05$),第 9 天, qN 值迅速上升到 0.403,显著高于对照组($P<0.05$),第 11 天、12 天, qN 值迅速降为 0,再次低于对照组,但与对照组相比无显著性差异($P>0.05$)。

3 讨论

土壤逐渐干旱对菖蒲生长发育的影响直接体现在其对光合作用的影响上。叶片叶绿素荧光与光合作用中各种反应过程密切相关,任何环境因子对光合作用的影响都可通过叶片叶绿素荧光动力学反映出来^[18]。PS II 的光化学效率是表明光化学反应状况的一个重要参数,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^[19]。试验初期(第 3 天),干旱组菖蒲叶片 yield、 qP 值显著高于对照组, qN 值低于对照组,表明干旱组菖蒲叶片光合作用能力强于对照组,这也与干旱组菖蒲平均株高、叶宽、生物量高于对照组的结果相对应, Fv/Fm 是 PS II 最大光化学量子产量,反映 PS II 反应中心内禀光能转换效率或称最大 PS II 的光能转换效率。非胁迫条件下该参数的变化极小,多数高等植物 Fv/Fm 值约为 0.83,胁迫条件下该参数明显下降^[20-21],当 Fv/Fm 值低于 0.8 时,外界胁迫可能对 PS II 反应中心造成一定损伤^[22],干旱组实验第 3 天 Fv/Fm 值为 0.822 显著高于对照的 0.797,且 qN 值为 0 低于对照组的 0.027,表明短期内土壤水分含量下降(土壤水分含量自 53.86% 下降至 42.6%)可能最有利于菖蒲生长,而对照组(土壤水分含量(53.49±0.6)%)菖蒲生长则可能受到微量胁迫,尚需通过少量的热耗散保护以光合结构 PS II。

随着短时间内(第 6 天、第 9 天)土壤逐渐干旱(土壤含水率自 42.6% 下降至 18.02%),干旱组菖蒲叶片 yield、 qP 值开始下降,但与对照相比无显著差异,而 qN 值则由 0 迅速上升至 0.403,显著高于对照组,表明植株开始受到干旱胁迫,呈现低光抑制现象,但能通过保持较高的热耗散维持光合结构 PS II 保持正常,而 Fv/Fm 值与对照相比无显著差异,也表明 PS II 反应中心未受破坏,这也与此时菖蒲叶片虽然萎蔫、卷曲,但并未落黄的表象相对应,随着干旱程度进一步加剧(土壤含水率自 18.02% 下降至 4.5%),第 11 天、12 天,干旱组菖蒲叶片 yield、 qP 值快速下降,并显著低于对照组,表明叶片光合速率显著下降,而 Fv/Fm 值分别只有 0.733、0.407,均显著低于对照,同时第 11 天 qN 值即降为 0,则表明此时菖蒲叶片的光合结构 PS II 已受到损

坏,对热能的耗散能力也丧失殆尽,干旱组菖蒲也逐步以自小叶片至大叶片的顺序枯萎衰亡,这主要是菖蒲将水分优先用于中上层叶片的生长,从而利用有限的水分维持生命活动相关^[8]。

植物在生长发育过程中受到干旱胁迫时够进行相关抗旱基因的表达,随之产生一系列生理、生化及形态结构等方面的变化,从而表现出抗旱性的综合性状^[23],实验结果(图1,图3)也发现干旱组菖蒲受到干旱胁迫时通过降低叶片含水率、叶面积(叶片卷曲避光)等方式降低水分蒸腾,进行自我保护^[24],实验第6—12天,干旱组叶片生物量、叶片含水率、叶宽与土壤水分含量呈显著正相关,相关性分别达到0.900、0.952、0.959。

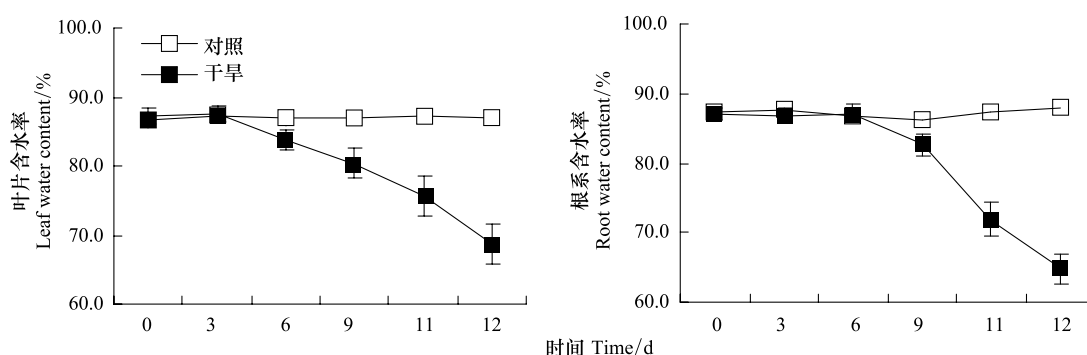


图3 实验期间菖蒲叶片、根系含水率变化

Fig. 3 Changes of leaf, root water content of *Acorus calamus* during the experimental period

此外,这种菖蒲的短期耐旱应急行为可能与根系适应性表现相关,植物根系作为土壤水分的直接吸收利用者,在土壤干旱、土壤水势降低的胁迫条件下,往往通过降低根含水率使从而利于其从土壤中吸水^[25],同时植物根系感应并迅速发出信号,使整个植株对水分胁迫作出反应^[26],实验第9天,干旱组菖蒲根系含水率开始显著低于对照组(图3),但光合效率并未降低,这也与 Heitholt^[5]发现一致,适度干旱能使植物水分利用效率显著提高,在干旱环境中湿地植物以提高水分利用效率来缓解水分供应不足的状况,将净光合速率维持在相对稳定的状态。通过对实验期间根系含水率变化与叶片含水率、叶片生物量及叶宽变化进行相关性分析后发现,均呈显著正相关,相关性分别达到0.969、0.982和0.927。

Grime 模型^[27]与 Tilman 模型^[28-29]认为,当环境中有限资源量下降到一个底点,具有最小资源需要量的个体将在环境中生存,本实验发现,在土壤还具有一定的水分时(实验第9天到11天,土壤含水率自18.02%下降至9.74%),干旱组菖蒲即开始衰亡,此时菖蒲生物量尚有对照组的60.2%,这主要与当前的土壤水分难以维持尚具有较大生物量的干旱组菖蒲的基本生命活动有关,曹昀等^[6]研究发现,在控制土壤水分、菖蒲从块茎开始生长的条件下,土壤水分含量20%、10%的干旱处理组菖蒲幼苗均能萌发生长,但其生物量在第20天只有对照组(土壤水分含量55%)的约25%和10%,菖蒲幼苗通过减少叶片数量与叶片面积,利用有限的资源(土壤可利用水分)维持现存叶片的水分含量,各干旱条件组叶片的含水率变化不大,均在78.3%—83.8%之间,叶片的水分含量的维持对幼苗的生命活动具有重要意义,也是菖蒲幼苗在重度干旱条件下继续生存的主要原因。本研究结果也发现(图3),实验第9天,干旱组菖蒲叶片含水率与曹昀研究结果相似,尚能维持在一定水平(80.35%),此时菖蒲叶片虽然萎蔫、卷曲,但光合效率并未下降,而随着干旱程度进一步加剧(土壤含水率自18.02%下降至4.5%),第11、12天,干旱组菖蒲叶片含水率分别降至75.79%和68.78%,菖蒲开始衰亡,表明在土壤水分快速下降过程中过高的生物量将不利于菖蒲保持水分,80%左右的叶片含水率是维持菖蒲存活的临界值,低于这一数值菖蒲将会衰亡。

4 结论

短期内土壤水分含量下降(土壤含水率自53.86%下降至42.6%)有利于菖蒲生长,干旱组菖蒲叶片 Fv/Fm 、Yield、 qP 显著高于对照组($P < 0.05$), qN 则低于对照组;随着土壤逐渐干旱(土壤含水率自42.6%下降至18.02%),菖蒲生长逐渐受到抑制,但叶片保持较高的热耗散从而维持光合结构 PS II 保持正常,并能通过降

低叶片含水率、叶面积(叶片卷曲避光)减少水分蒸腾及降低根系含水率促进水分吸收的方式进行自我保护;随着干旱程度进一步加剧(土壤含水率自 18.02% 下降至 4.5%),较低的土壤水分已难以维持尚具有较大生物量菖蒲的基本生命活动,菖蒲叶片对热能的耗散能力丧失殆尽,光合结构 PS II 受到损坏,叶片含水率分别降至 75.79% 和 68.78%,此时菖蒲也逐步以自小叶片至大叶片的顺序枯萎衰亡,表明在土壤水分快速下降过程中过高的生物量将不利于菖蒲保持水分,而 80% 左右的叶片含水率是维持菖蒲存活的临界值。

References:

- [1] Mitsch W J, Gosselink J G. Wetlands. New York: JohnWiley & Sons, Inc., 2000.
- [2] Deng C L, Zhang G X, Pan X L. Influence mechanism of water cycles to photosynthesis of *Phragmites australis*. Journal of Yunnan Agricultural university, 2012, 27(5):640-645.
- [3] Bohnert H J, Jensen R G. Strategies for engineering water stress tolerance in plants. Trends Biotech, 1996, 14: 89-97.
- [4] Wang C X, Liu H Y. Influence of water-drainage works on Landscape Pattern in Sanjiang Plain. Journal of Irrigation and Drainage, 2008, 27(1): 103-107.
- [5] Heitholt J J. Water use efficiency and dry matter distribution in nitrogen and water-stressed winter wheat. Agronomy Journal, 1989, 81: 464-469.
- [6] Cao Y, Wang G X. Effects of soilwater content on germination and seedlings growth of Sweet Flag. Acta Eco logica Sinica, 2007, 27(5): 1748-1755.
- [7] Luan J H. The Diurnal Variation of Photosynthesis of *Carex lasiocarpa* under Drought Stress in the Sanjiang Plain. Wetland science, 2008, 6(2): 223-228.
- [8] Wu X D, Wang G X, Li Z G, Xia J, Wei H N, Xu K, Zhou F. Effects of Drought Stress on Growth and Chlorophyll Fluorescence Parameters of *Typha orientalis*. Journal of Ecology and Rural Environment, 2012, 28(1): 103-107.
- [9] Zhou J, Wei H, Lv Q, Li C X, Wang Z X, Gao W, Chen W. Effects of soil water regime on leaf photosynthetic characteristics of slash pine (*Pinus elliottii* Engelm.) seedlings. Chinese Journal of Ecology, 2012, 31(1): 30-37.
- [10] Xu D Q. Photosynthetic Efficiency. Shanghai: Shanghai scientific & Technical Publishers, 2002: 29-109.
- [11] Li J Y. The mechanism of plant Drought resistance. Journal of Beijing forestry university. 1991,13(3): 92-100.
- [12] Zhao T H, Shen X Y, Yang D G, Ma X F. Effects on Chlorophyll Content and Photosynthetic Rate of Maize Leaves under Water Stress and Rewatering. Rain Fed Crops, 2003, 23(1): 33-35.
- [13] Lu M D. Hydrophytic Biology of Freshwater. Suzhou: Suzhou University Press, 2002: 46.
- [14] Schreiber U, Bilger W and Neubauer C. Chlorophyll fluorescence as a noninvasive indicator for rapid assessment of in vivo photosynthesis. Ecol Studies, 1994, 100: 49-70.
- [15] Franklin L A. The effects of temperature acclimation on the photoinhibitory responses of *Ulva rotundata* Blid. Planta, 1994, 192: 324-331.
- [16] Bilger W and 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.
- [17] Schreiber U, Bilger W and Neubauer G//Schulze E D, Caldwell, M M, eds. Ecophysiology of Photosynthesis. Springer Verlag, Berlin;1994.
- [18] Hui H X, Xu X, Li Q R. Exogenous betaine improves the photosynthesis of *Lycium barbarum* under salt stress. ActaBot. Boreal.-Occident. Sin, 2003, 23(12): 2137-2422.
- [19] Yu S W, Tang Z C. Plant Physiology and Molecular Biology. Beijing: Science Press, 1998, 262-267.
- [20] Han Z G, Han B P, Fu X. Algal Photosynthesis: Mechanisms and Models. Beijing: Science Press, 2003.
- [21] Song Y Z, Cai W, Qin B Q. Photosynthetic fluorescence characteristics of floating-leaved and submersed macrophytes commonly found in Taihu lake. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(3): 569-573.
- [22] Dawson S P, Dennison W C. Effects of ultraviolet and photo synthetically active radiation on five seagrass species. Marine Biology, 1996, 125: 629-638.
- [23] Zhao Y J, Wen B Q, Wang Y X, Xu G Z. Plant ecological and physiological response under drought stress, a review. Fujian Sience and Technology of Rice and Wheat, 2009,27(2): 45-50.
- [24] Liu Y, Wang G X, Pan G Q. Effects of groundwater depth on germination and seedling growth of *Acorus calamus*. Journal of Lake Sciences, 2009, 21(4): 530-537.
- [25] Shan C J, Liang Z S. Effects of soil drought on root growth and physiological characteristics of winter wheat seedlings. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2007, 15(5): 38-41.

- [26] Zhu W Q, Wu L H, Tao Q N. Advances in the studies on crop root against drought stress. *Soil and Environmental Sciences*, 2002, 11(4): 430-433.
- [27] Grime J P. *Plant Strategies and Vegetation Processes*. London: Willey, 1997.
- [28] Tilman D. *Resource Competition and Community Structure*. Princeton, N J: Princeton University Press, 1982.
- [29] Tilman D. *Plant Strategies and the Dynamics and the Structure of Plant Communities*. Princeton N J: Princeton University Press, 1980.

参考文献:

- [2] 邓春暖, 章光新, 潘响亮. 不同淹水周期对芦苇光合生理的影响机理. *云南农业大学学报*, 2012, 27(5): 640-645.
- [4] 王翠晓, 刘红玉. 排水工程对三江平原湿地流域的影响分析. *灌溉排水学报*, 2008, 27(1): 103-107.
- [6] 曹昀, 王国祥. 土壤水分含量对菖蒲萌发及幼苗生长发育的影响. *生态学报*, 2007, 27(5): 1748-1755.
- [7] 栾金花. 干旱胁迫下三江平原湿地毛苔草光合作用日变化特性研究. *湿地科学*, 2008, 6(2): 223-228.
- [8] 吴晓东, 王国祥, 李振国, 夏劲, 魏宏农, 许宽, 周锋. 干旱胁迫对香蒲生长和叶绿素荧光参数的影响. *生态与农村环境学*, 2012, 28(1): 103-107.
- [9] 周珺, 魏虹, 吕茜, 李昌晓, 王振夏, 高伟, 陈伟. 土壤水分对湿地松幼苗光合特征的影响. *生态学杂志*, 2012, 31(1): 30-37.
- [10] 许大全. *光合作用效率*. 上海: 上海科学技术出版社, 2002: 29-109.
- [11] 李吉跃. 植物耐旱性及其机理. *北京林业大学学报*, 1991, 13(3): 92-100.
- [12] 赵天宏, 沈秀瑛, 杨德光, 马秀芳. 水分胁迫及复水对玉米叶片叶绿素含量和光合作用的影响. *杂粮作物*, 2003, 23(1): 33-35.
- [13] 卢德敏. *淡水生物学*. 苏州: 苏州大学出版社, 2002. 46.
- [18] 惠红霞, 许兴, 李前荣. 外源甜菜碱对盐胁迫下枸杞光合功能的改善. *西北植物学报*, 2003, 23(12): 2137-2422.
- [19] 余叔文, 汤章成. *植物生理与分子生物学* 第2版. 北京: 科学出版社, 1998: 262-267.
- [20] 韩志国, 韩博平, 伏翔. *藻类光合作用机理与模型*. 北京: 科学出版社, 2003.
- [21] 宋玉芝, 蔡炜, 秦伯强. 太湖常见浮叶植物和沉水植物的光合荧光特性比较. *应用生态学报*, 2009, 20(3): 569-573.
- [23] 赵雅静, 翁伯琦, 王义祥, 徐国忠. 植物对干旱胁迫的生理生态响应及其研究进展. *福建稻麦科技*, 2009, 27(2): 45-50.
- [24] 刘玉, 王国祥, 潘国权. 水位埋深对菖蒲萌发和幼苗生长的影响. *湖泊科学*, 2009, 21(4): 530-537.
- [25] 单长卷, 梁宗锁. 土壤干旱对冬小麦幼苗根系生长及生理特性的影响. *中国生态农业学报*, 2007, 15(5): 38-41.
- [26] 朱维琴, 吴良欢, 陶勤南. 作物根系对干旱胁迫逆境的适应性研究进展. *土壤与环境*, 2002, 11(4): 430-433.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 13 Jul. ,2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- A review of ecological effects of remnant trees in degraded forest ecosystems after severe disturbances MIAO Ning, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al (3889)
- Mechanism and application of bioremediation to heavy metal polluted soil using arbuscular mycorrhizal fungi LUO Qiaoyu, WANG Xiaojuan, LIN Shuangshuang, et al (3898)

Autecology & Fundamentals

- Changes of allometric relationships among leaf traits in different ontogenetic stages of *Acer mono* from different types of forests in Donglingshan of Beijing YAO Jing, LI Ying, WEI Liping, et al (3907)
- The combined effects of increasing CO₂ concentrations and different temperatures on the growth and chlorophyll fluorescence in *Porphyra haitanensis* (Bangiales, Rhodophyta) LIU Lu, DING Liuli, CHEN Weizhou, et al (3916)
- Research on biomass expansion factor of chinese fir forest in Zhejiang Province based on LULUCF greenhouse gas Inventory ZHU Tangjun, SHEN Chuchu, JI Biyong, et al (3925)
- Influence of soil gradual drought stress on *Acorus calamus* growth and photosynthetic fluorescence characteristics WANG Wenlin, WAN Yinjing, LIU Bo, et al (3933)
- Isolation, identification, real-time PCR investigation of an endophytic phosphate-solubilizing bacteria from *Caragana korshinskii* Kom. roots ZHANG Lizhen, FENG Lili, MENG Qixia, et al (3941)
- Plant's and soil organism's diversity across a range of *Eucalyptus grandis* plantation ages ZHANG Danju, ZHANG Jian, YANG Wanqin, et al (3947)
- Effects of diet and starvation on growth and survival of *Scapharca broughtonii* larvae WANG Qingzhi, ZHANG Ming, FU Chengdong, et al (3963)
- Multidrug-resistant bacteria in livestock feces QI Shiyue, REN Siwei, LI Xueling, et al (3970)
- Physiological regulation related to the decline of *Alexandrium catenella* MA Jinhua, MENG Xi, ZHANG Shu, et al (3978)
- Numerical simulation of water quality based on environmental fluid dynamics code for grass-algae lake in Inner Mongolia LI Xing, SHI Hongsen, ZHANG Shuli, et al (3987)

Population, Community and Ecosystem

- Influence of enclosure on *Glycyrrhiza uralensis* community and distribution pattern in arid and semi-arid areas LI Xuebin, CHEN Lin, LI Guoqi, et al (3995)
- The interannual variation of net primary productivity of three coniferous forests in Liupan Mountains of Ningxia and its responses to climatic factors WANG Yunni, XIONG Wei, WANG Yanhui, et al (4002)
- Soil water use and balance characteristics in mature forest land profile of *Caragana korshinskii* in Semiarid Loess Area MO Baoru, CAI Guojun, YANG Lei, LU Juan, et al (4011)
- Effect of simulated acid deposition on chemistry of surface runoff in monsoon evergreen broad-leaved forest in Dinghushan QIU Qingyan, CHEN Xiaomei, LIANG Guohua, et al (4021)
- A space optimization model of water resource conservation forest in Dongting Lake based on improved PSO LI Jianjun, ZHANG Huiru, LIU Shuai, et al (4031)
- Allelopathic effects of aqueous extract of exotic plant *Rhus typhina* L. on soil micro-ecosystem HOU Yuping, LIU Lin, WANG Xin, et al (4041)
- The impact of natural succession process on waterbird community in a abandoned fishpond at Chongming Dongtan, China YANG Xiaoting, NIU Junying, LUO Zukui, et al (4050)
- Mercury contents in fish and its biomagnification in the food web in Three Gorges Reservoir after 175m impoundment YU Yang, WANG Yuchun, ZHOU Huaidong, et al (4059)

- Microsatellite analysis on genetic diversity of common carp, *Cyprinus carpio*, populations in Yuan River
 YUE Xingjian, ZOU Yuanchao, WANG Yongming, et al (4068)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Research on spatio-temporal change of temperature in the Northwest Arid Area HUANG Rui, XU Ligang, LIU Junmin (4078)
- Simulation of soil respiration in forests at the catchment scale in the eastern part of northeast China
 GUO Lijuan, GUO Qingxi (4090)
- The early effects of nitrogen addition on CH₄ uptake in an alpine meadow soil on the Eastern Qinghai-Tibetan Plateau
 ZHANG Peilei, FANG Huajun, CHENG Shulan, et al (4101)
- Analysis of water ecological footprint in Guangxi based on ecosystem services ZHANG Yi, ZHANG Heping (4111)
- The integrated recognition of the source area of the urban ecological security pattern in Shenzhen
 WU Jiansheng, ZHANG Liqing, PENG Jianet al (4125)
- Carbon sources and storage sinks in scenic tourist areas: a Mount Lushan case study
 ZHOU Nianxing, HUANG Zhenfang, LIANG Yanyan (4134)
- Impacts of climate change on dominant pasture growing season in Central Inner Mongolia
 LI Xiazi, HAN Guodong, GUO Chunyan (4146)
- Phenological Characteristics of Typical Herbaceous Plants (*Lris lacteal*) and Its Response to Climate Change in Minqin Desert
 HAN Fugui, XU Xianying, WANG Lide, et al (4156)
- Biomass and distribution pattern of carbon storage in *Eomecon chionantha* Hance
 TIAN Dalun, YAN Wende, LIANG Xiaocui, et al (4165)
- Temporal dynamics and influencing factors of fine roots in five Chinese temperate forest ecosystems
 LI Xiangfei, WANG Chuankuan, QUAN Xiankui (4172)

Resource and Industrial Ecology

- Effects of AMF on soil improvement and maize growth in mining area under drought stress
 LI Shaopeng, BI Yinli, CHEN Peizhen, et al (4181)

Urban, Rural and Social Ecology

- Health function evaluation and exploring its mechanisms in the Shanghai Green Belt, China
 ZHANG Kaixuan, ZHANG Jianhua (4189)

Research Notes

- Time lag effects of rainfall inside a *Platycladus Orientalis* plantation forest in the Beijing Mountain Area, China
 SHI Yu, YU Xinxiao, ZHANG Jiayin (4199)
- Long-term effects of harvest residue management on soil total carbon and nitrogen concentrations of a replanted Chinese fir
 plantation HU Zhenhong, HE Zongming, FAN Shaohui, et al (4205)

《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 彭少麟

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 13 期 (2013 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 13 (July, 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