

## 水位埋深对菖蒲萌发和幼苗生长的影响\*

刘 玉, 王国祥\*\*, 潘国权

(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 210046)

**摘 要:** 在直径 35.5cm、深 100cm 的试验桶内装填厚度 80cm 的江沙, 选择形态和节数一致的菖蒲根状茎栽种到桶内江沙中, 调节并控制试验桶水位埋深, 模拟研究湿地水位埋深变化对菖蒲萌发和幼苗生长的影响, 为湿地生态系统保育和受损区域植被恢复提供理论依据。试验结果表明: (1)水位埋深对菖蒲萌发和幼苗生长有不同程度的影响, 水位埋深为-60cm 至-20cm 条件下菖蒲皆能萌发, 且随着水位埋深减小, 萌发率降低。试验 70d, -20cm 试验组菖蒲萌发率达到 90%, 分别为-50cm 和-60cm 试验组的 2.25 和 3 倍。而 0cm 水位埋深条件下, 菖蒲不萌发; (2)菖蒲幼苗叶长、叶宽和叶面积随水位埋深减小而减小, 各试验组间差异极显著( $P < 0.01$ ), 叶片数量也随水位埋深减小而减小, -20cm 和-40cm 试验组极显著高于-50cm 和-60cm 试验组 ( $P < 0.01$ ), 且-60cm 水位埋深严重影响菖蒲幼苗的存活, 试验 70d 后菖蒲幼苗相继死亡; (3)随水位埋深减小, 菖蒲幼苗叶片 Chl.a 和 Chl.b 含量下降, Chl.a/b 升高, 类胡萝卜素(Car)含量升高, 植物通过形态调节和减少色素含量来减少叶片对光能的捕获; (4)水位埋深过小导致的低土壤水分含量还使菖蒲幼苗叶片细胞膜脂过氧化加剧, 细胞质膜透性迅速增大; (5)水位埋深影响菖蒲幼苗叶片快速光响应曲线, 水位埋深越小,  $ETR_{max}$  和最小饱和光照强度越低, 光响应能力越弱。

**关键词:** 菖蒲; 水位埋深; 叶绿素含量; 丙二醛含量; 细胞质膜透性; 快速光响应曲线

## Effects of groundwater depth on germination and seedling growth of *Acorus calamus*

LIU Yu, WANG Guoxiang & PAN Guoquan

(College of Geographical Science, Nanjing Normal University, Jiangsu Key Laboratory of Environmental Change and Ecological Construction, Nanjing 210046, P.R.China)

**Abstract:** Effects of groundwater depth on germination and seedling growth of *Acorus calamus* were studied by simulating experiment. The experimental barrels (diameter of 35.5cm and depth of 100cm) were filled with fluvial sands of 80cm depth. The water was introduced directly into the bottom of the barrels to build the groundwater depths in -60cm, -50cm, -40cm, -20cm and 0cm in different five barrels respectively. The same rhizomes of *A. calamus* were selected and planted in each barrel. The results were as follows: (1) Groundwater depth has significant effects on germination and seedling growth of *A. calamus*. The plant can germinate in the groundwater depth from -60cm to -20cm, when groundwater depth decreased germination ratio reduced. On the 70th day, germination ratio of the -20cm treatment reached 90%, which were 2.25 and 3 times of those in the -50cm and -60cm treatments. Plant of 0cm treatment can not germinate. (2) Leaf length, width and area were positively correlated with groundwater depths and the significant correlations are able to be accepted ( $P < 0.01$ ). With decreasing of groundwater depth, the number of the laminae reduces. The number of the laminae in -20cm and -40cm treatments were very significantly higher than those in -50cm and -60cm treatments ( $P < 0.01$ ). Groundwater depth of -60cm was greatly affected on survival of plant seedling since plant seedling of -60cm treatment began to die after the 70th day. (3) With decreasing of groundwater depth, Chl.a, Chl.b and Car reduced but Chl.a/b increased. Plant leaves captured the light reducibly by the way of morphological adjustment and chlorophyll content reduction. (4) The laminae MDA and membrane permeability increased, which is led by low soil water content caused by low groundwater depth. (5)

\* 教育部科技创新工程重大项目培育基金项目(705824)和国家“十五”“211 工程”重大项目(70582422)联合资助。2008-08-09 收稿; 2008-12-18 收修改稿。刘玉, 女, 1984 年生, 硕士; E-mail: jade.yl@163.com.

\*\* 通讯作者; E-mail: wangguoxiang@njnu.edu.cn.

Groundwater depth has great effects on the rapid responded light-curves of *A. calamus*. As groundwater depth decreases, the maximal photosynthetic electron transport rate ( $ETR_{max}$ ) and the minimal saturated light intensity reduce, and the responded photoresponse capacity is weakened.

**Keywords:** *Acorus calamus*; groundwater depth; chlorophyll content; MDA; membrane permeability; rapid responded light-curves

湿地水文条件是湿地属性的决定性因素, 它能促成其它两个湿地特征(湿地土壤和湿地植物)的形成<sup>[1-2]</sup>. 对于退化湿地生态系统而言, 很重要的水文状况变化就是干旱和水位埋深减小. 以三江平原为例: 别拉洪河流域由于排水工程的建设, 改变了湿地水文条件, 湿地水位埋深减小<sup>[3]</sup>; 导致沼泽土壤中重金属元素铁、锰大量丧失, 土壤脱离沼泽还原环境, 全氮、全磷、全钾含量大幅度下降; 从而大大影响了三江平原各种纤维植物、饲用植物、药用植物和蜜源植物等资源植物的生长. 其中芦苇表现最为直观, 一级芦苇及三级芦苇均有下降趋势<sup>[4]</sup>. 因此, 对于湿地植物, 水位埋深过小导致的低土壤水分含量是胁迫其生长的重要因素之一. 当前, 对水位埋深大小对湿地植物影响的研究较少且以野外调查为主, 且侧重于种群和群落水平<sup>[5-7]</sup>.

菖蒲(*Acorus calamus*)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. 当前, 有关菖蒲的研究多集中于其对污水的净化作用、对藻类的化感作用、对重金属污染的净化作用等方面<sup>[8-11]</sup>, 但就湿地水位埋深变化对菖蒲影响的研究尚未见, 而且环境因素对菖蒲生理生态特性的影响研究也很少见.

本试验通过室内模拟湿地水位埋深变化, 定量地测定不同水位埋深对菖蒲萌发及幼苗叶片形态、叶绿素含量、丙二醛含量、细胞质膜透性和快速光响应曲线的影响, 有助于理解菖蒲对水位埋深环境适应的生态对策, 揭示菖蒲萌发、生长及分布的制约因素, 可以为研究湿地水文-植物生态关系、湿地生态系统保育和植被恢复重建提供依据.

## 1 材料与方法

### 1.1 试验概况

试验在南京师范大学仙林校区江苏省环境工程重点实验室“水生态环境修复中试平台”进行.

2008年2月下旬从仙林九乡河湿地采集野生菖蒲根状茎, 选择形态和节数基本一致的5段(18-20小节/段), 栽培到直径35.5cm, 深100cm的试验桶中(基质为厚度80cm的江沙. 江沙中砂粒占35%, 粉粒高达50%, 黏粒仅15%, 总孔隙率小于50%, pH值7.8, 有机质含量为2%, 全氮0.09%, 速效磷9.9mg/kg), 将菖蒲根状茎横栽于江沙中, 约埋深2cm(试验装置如图1所示).

通过注水管向试验桶底部直接注水, 控制水量以模拟不同水位埋深, 分别模拟-60cm、-50cm、-40cm、-20cm和0cm的水位埋深, 其中0cm水位埋深为江沙基质浸泡在水中, 即水位埋深与基质等高. 每组试验设3个重复. 2月20日栽种菖蒲根状茎, 此后定期观察菖蒲根状茎萌发情况, 测量各试验组幼苗叶片形态指标、测定幼苗叶片叶绿素含量、丙二醛含量、细胞质膜透性和快速光响应曲线, 试验至5月6日止.

试验中, 各试验桶所处环境条件如光照、温度、湿度等基本一致.

### 1.2 环境因子测定

每天 19:00 时, 观察试验桶内水位埋深浮标变化, 使用同一水源补给试验桶中损失的水分, 以保持各

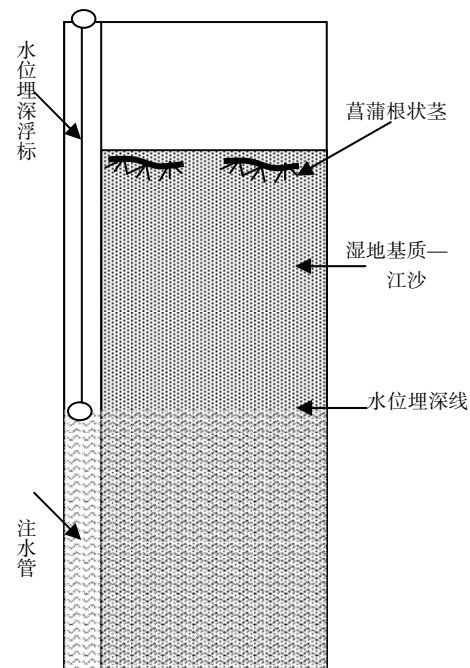


图 1 试验装置示意图

Fig.1 Sketch map of experimental device

试验桶水位埋深不变,并用 HH2 型土壤湿度计(Moisture Meter)测定各试验组表层土壤水分含量.每周用 HH2 型土壤湿度计(Moisture Meter)测定各试验组垂直方向土壤水分含量.

### 1.3 幼苗叶片生长指标测定

每周直接测量各试验组菖蒲幼苗叶长、叶宽和叶面积.

### 1.4 幼苗叶片叶绿素含量、丙二醛含量和细胞质膜透性测定

菖蒲幼苗叶片叶绿素和类胡萝卜素含量的测定,每月 1 次,采用 ARNON 法<sup>[12]</sup>;丙二醛含量测定,每月 1 次,采用 TBA 显色法测定<sup>[13]</sup>;细胞质膜透性测定,每月 1 次,采用电导仪法<sup>[14]</sup>.

### 1.5 幼苗叶片快速光响应曲线测定

试验 38d 和 70d,各试验组随机选择 5 株植株叶片,用饱和脉冲荧光仪(德国 WALZ 公司)测定叶片的快速光响应曲线.测定于 7:00-8:00 进行.叶片经暗适应 10s 后,打开叶夹,开启检测光( $0.15\mu\text{mol photon}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ )得到固定荧光产量( $F_0$ ),再由饱和脉冲光( $4000\mu\text{mol photon}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ , 0.8s)得到最大荧光产量( $F_m$ );随后,逐渐开启光强度分别为 41、84、147、214、289、422、569 $\mu\text{mol photon}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 和 848 $\mu\text{mol photon}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 的光化光,每个强度的光化光照射 10s 后,经检测光和饱和脉冲光测得稳态荧光产量( $F_s$ ,有时用  $F_a$ 、 $F_s$  表示)和作用光打开时的最大荧光产量( $F'_m$ ),计算得到 8 个表观光合电子传递速率值( $ETR$ ; $ETR=\text{Yield}\times PAR\times 0.84\times 0.5$ ;  $\text{Yield}=(F'_m-F_s)/F'_m$ ),绘出  $ETR$  平均值的快速光响应曲线<sup>[15]</sup>.

## 2 结果与分析

### 2.1 环境因子变化

根据一元回归方程,得各试验组水位埋深变化与土壤表层水分含量关系为:  $y=0.7077x+47.3464(n=80, P<0.05)$ , 对应 -60、-50、-40、-20 和 0cm 试验组土壤表层水分含量为: 4.89%、11.96%、19.04%、33.19% 和 47.35%(体积百分比)(图 2).

各试验组土壤水分含量在垂直方向上的变化趋势为:从土壤表面往下,越接近地下水位埋深线,土壤水分含量越高,但变化趋势非线性;在地下水位埋深线以上 10cm,各试验组土壤水分含量基本饱和(表 1).

表 1 各试验组垂直方向上土壤水分含量变化(单位: %Vol)  
Tab.1 Changes of soil water content in vertical direction of each treatment

垂直方向 水位埋深变化	-60cm	-50cm	-40cm	-20cm	0cm
0cm	6.48±1.55	10.43±2.80	19.07±1.90	32.19±1.39	48.26±0.97
-10cm	12.3±1.06	18.83±1.05	19.84±3.89	饱和	
-20cm	14.83±1.00	32.77±1.50	31.6±3.69		
-30cm	16.3±0.85	42.7±1.89	饱和		
-40cm	36.7±1.87	饱和			
-50cm	饱和				

### 2.2 水位埋深对菖蒲萌发的影响

菖蒲在水位埋深为 -60cm 至 -20cm 的条件下皆能萌发,且随着水位埋深减小,菖蒲萌发率降低(图 3). 试验 23d 开始,各试验组菖蒲萌发率出现明显差异,-20cm 和 -40cm 试验组菖蒲萌发率分别为 30% 和 10%,其它试验组未萌发;至试验 70d,-20cm 试验组菖蒲幼苗萌发率达到 90%,分别为 -50cm 和 -60cm 试验组的 2.25 和 3 倍.0cm 水位埋深条件下,菖蒲不萌发.

试验 70d,将 0cm 试验组菖蒲根状茎从江沙中挖出,发现已有部分根状茎腐烂,进一步试验发现,将 0cm 试验组未萌发且未腐烂的菖蒲根状茎移栽入无基质、淹水深度为 0cm 的试验盆中或重新栽回试验桶中,并减小水位埋深至 -20cm,则菖蒲根状茎依然能萌发.0cm 水位埋深条件下,菖蒲不萌发,其原因待进一步研究探讨.

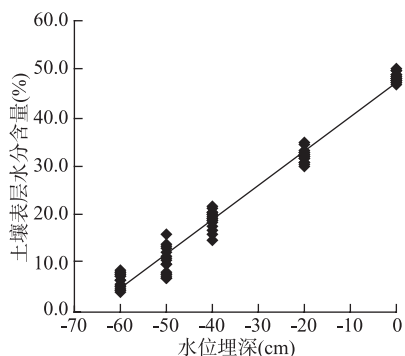


图 2 水位埋深与土壤表层水分含量关系

Fig.2 The relationship between groundwater depth and soil surface water content

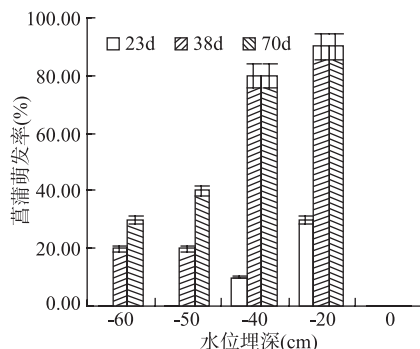


图 3 不同水位埋深菖蒲萌发率

Fig.3 Germination ratio of *Acorus calamus* in different groundwater depth

### 2.3 水位埋深对菖蒲幼苗生长发育的影响

总体而言, 菖蒲幼苗叶长随水位埋深减小而减小(图 4). 试验 23d, 各试验组叶长增长出现明显差异; 试验 70d, -60cm 和-50cm 试验组菖蒲叶长分别为 9.23cm 和 26cm, 分别为-20cm 试验组的 16.21%和 45.67%; 此后, -60cm 试验组植株生长基本停滞, 甚至相继死亡. 方差分析表明, 不同水位埋深条件下菖蒲幼苗平均高度间存在极显著差异( $P<0.01$ ). 试验 23-77d, 除 0cm 试验组外, 菖蒲幼苗叶长与水位埋深呈显著或极显著正相关( $P<0.05$  或  $P<0.01$ , 表 2)关系.

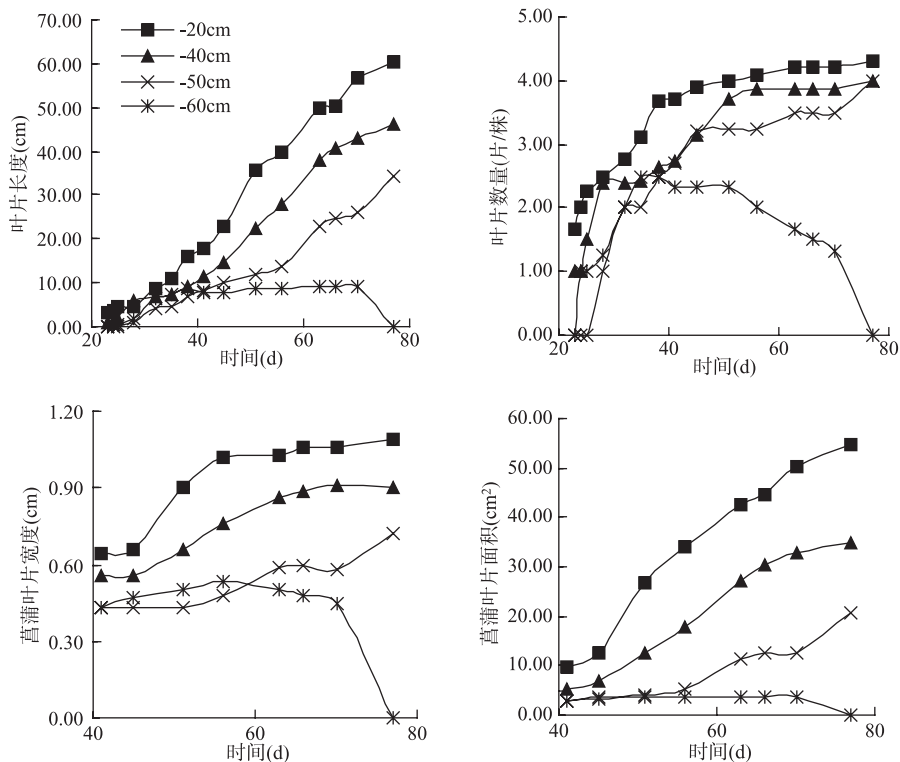


图 4 菖蒲幼苗叶片生长状况变化

Fig.4 Changes of *Acorus calamus* leaf

表2 幼苗叶长与水位埋深相关性分析

Tab.2 The correlations between leaf length and groundwater depth

试验天数(d)	23	38	51	66	77
相关系数	0.9621**	0.8598*	0.9897**	0.9576**	0.9191**

\*  $P<0.05$ ; \*\*  $P<0.01$ .

随水位埋深减小, 菖蒲幼苗叶宽和叶面积显著下降( $P<0.01$ ). 至试验 70d, -20cm 试验组平均叶宽为 1.06cm, 而-50cm 和-60cm 试验组平均叶宽仅为 0.58cm 和 0.45cm, 比-20cm 试验组分别下降了 45.283% 和 57.55%; 同期-60cm 试验组平均叶面积为 3.46cm<sup>2</sup>, 是-20cm 试验组的 6.88%.

菖蒲幼苗叶片数量随水位埋深的减小而下降, -20cm 和-40cm 试验组组间差异不显著( $P<0.05$ ), 但极显著高于-50cm 和-60cm 试验组( $P<0.01$ ).

#### 2.4 水位埋深对菖蒲幼苗生理化的影响

2.4.1 水位埋深对幼苗叶片叶绿素含量的影响 随水位埋深减小, 菖蒲叶片的 Chl.a 和 Chl.b 含量下降; 随试验时间延长, -50 至-20cm 试验组叶片 Chl.a 和 Chl.b 含量增长明显, -60cm 试验组叶绿素含量变化不大, 且-60cm 试验组叶片 Chl.a 含量显著低于-20cm 试验组( $P<0.05$ ) (图 5). 这主要是由于-60cm 试验组水分亏缺使各种细胞器, 特别是叶绿体和线粒体受到伤害, 从而影响叶绿素的生物合成, 促进已合成的叶绿素分解, 使其含量下降所致.

Chl.a/b 随水位埋深减小而升高. 试验 38d, -60cm 和-50cm 试验组 Chl.a/b 分别为 3.91 和 3.59, 是-20cm 试验组的 1.16 和 1.07 倍; 至试验 70d, -60cm 和-50cm 试验组 Chl.a/b 分别为 4.35 和 4, 是-20cm 试验组的 1.37 和 1.26 倍. Chl.a/b 可以反映捕光色素复合体 II(LHC II)在所有含叶绿素的结构中所占的比重, 其值升高表明 LHC II 含量减少. 随水位埋深减小, Chl.a/b 升高, 说明 LHC II 含量减小, 从而可以减少叶片对光能的捕获, 降低光合机构遭受光氧化破坏的风险, 这也是植物适应水位埋深过小的一种光保护调节机制<sup>[16]</sup>.

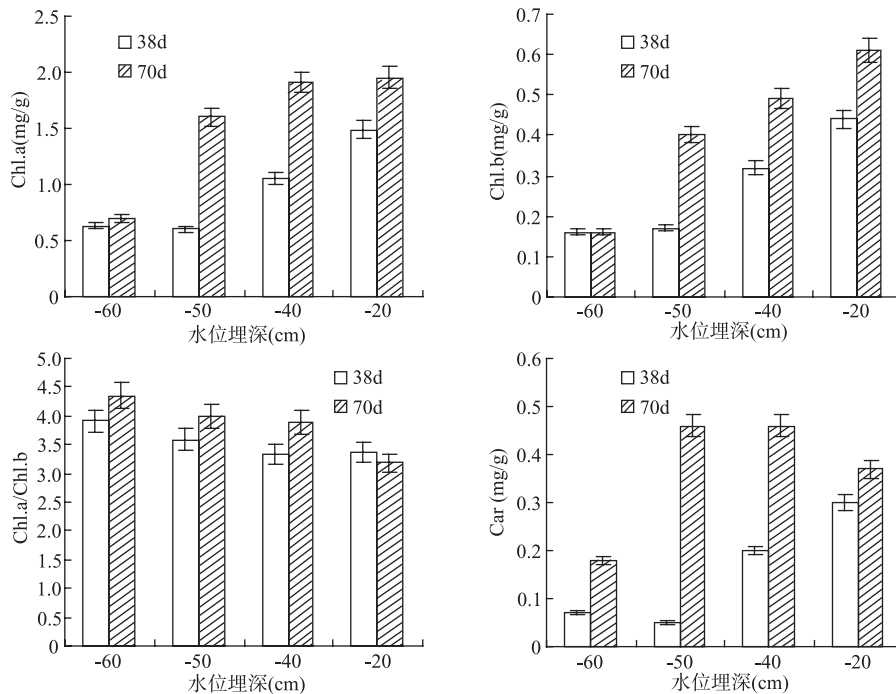


图5 菖蒲幼苗叶片叶绿素含量变化

Fig.5 Changes of chlorophyll content of *Acorus calamus* leaf

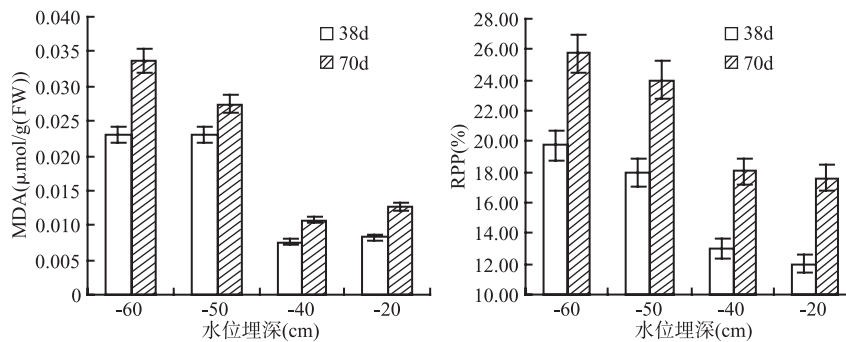


图 6 菖蒲幼苗叶片丙二醛含量和细胞质膜透性变化

Fig.6 Changes of the laminae MDA and membrane permeability

类胡萝卜素(Car)含量随水位埋深减小而减小. 试验 38d, -60cm 试验组 Car 含量为 0.07mg/g(鲜重), 明显低于-20cm 试验组的 Car 含量(0.30mg/g(鲜重)). 类胡萝卜素既是光合色素, 又是内源抗氧化剂, 它可以耗散过剩光能, 清除活性氧, 从而防止膜脂过氧化, 保护光合机构<sup>[17]</sup>. 随水位埋深减小, 叶片的光合色素遭到破坏, 类胡萝卜素含量下降, 但由于类胡萝卜素的稳定性较高, 其在光合色素中的比例相对稳定, 而类胡萝卜素含量稳定有利于保护光合机构, 防止叶绿素的光氧化破坏.

2.4.2 水位埋深对幼苗叶片丙二醛含量和细胞质膜透性的影响 随水位埋深减小, -20cm和-40cm 试验组叶片MDA含量和细胞质膜透性变化不明显, -50cm和-60cm试验组两指标迅速增大, 且各试验组间MDA含量差异显著( $P<0.05$ ). 丙二醛是膜脂过氧化作用的主要产物之一, 具有很强的细胞毒性, 对膜和细胞中的许多生物功能分子如蛋白质、核酸和酶等均有很强的破坏作用, 并参与破坏生物膜的结构与功能. 细胞膜是植物细胞内外物质和信息交流的界膜, 具有选择透性, 任何对膜的伤害都将导致细胞质膜透性增大, 对物质的选择透性降低, 电解质和一般水溶物向胞外渗漏. MDA 含量高低和细胞质膜透性变化是反映细胞膜脂过氧化作用强弱和质膜破坏程度的重要指标<sup>[18]</sup>. 菖蒲在-50cm和-60cm水位埋深条件下, 植物细胞内活性氧的产生和清除的平衡受到破坏, 自由基增加, 叶片细胞膜脂过氧化加剧, 质膜透性迅速增大.

### 2.5 水位埋深对菖蒲幼苗叶片快速光响应曲线的影响

水位埋深对菖蒲幼苗叶片 PS II 的影响之一, 体现在叶片对光的响应能力上. 在光响应曲线中, 刚开始几分钟光照时间内的曲线变化具有重要的决定意义<sup>[19]</sup>. 快速光响应曲线(RLCs)为电子传递速率随光强的变化曲线, 测定快速光响应曲线以确定芦苇叶片的实际光化学效率. 试验 38d, 水位埋深过小组菖蒲叶片最大表观电子传递速率  $ETR_{max}$  值低于水位埋深较大组, 且随水位埋深变化, 菖蒲叶片最小饱和光照强度也发生了变化, -20cm 试验组为  $848\mu\text{mol photon}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ , 其它各试验组最小饱和光照强度减小, -40cm 和 -50cm 试验组为  $569\mu\text{mol photon}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ , 而-60cm 试验组为  $422\mu\text{mol photon}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ , 光强大于  $422\mu\text{mol photon}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 时,  $ETR$  值下降, 光响应能力减弱. 试验 70d 时, 总体而言, 随水位埋深减小芦苇叶片  $ETR_{max}$  值减小, -20cm 和-40cm 试验组间差异不显著( $P<0.05$ ), 显著高于-60cm 试验组( $P<0.05$ )(图 7).

## 3 小结与展望

湿地生境中, 水因子(包括水深和水位波动)往往是影响湿地植物生长发育和湿地植物种选择的主导因子, 但即使是水分相对充足的河湖湿地, 也普遍存在季节性和非周期性水位埋深过小情况, 因此研究不同水位埋深对湿地植物萌发生长的影响对湿地生态系统保育和受损区域植被恢复具有重要意义. 试验结果表明:

(1)菖蒲是对水位埋深适应较强的物种, 但水位埋深明显影响其萌发与幼苗生长. 在 0cm 水位埋深条件下, 菖蒲幼苗不萌发. -20cm 和-40cm 水位埋深条件下, 菖蒲幼苗生长状况良好. -50cm 和-60cm 水位

埋深过小导致的低土壤水分含量对菖蒲幼苗生长产生一定影响,且-60cm 水位埋深严重影响菖蒲幼苗的存活. 试验 70d 后菖蒲幼苗相继死亡,江沙和根状茎中少量水分仅够菖蒲幼苗维持短暂的生长,进入快速生长期后对水分的强烈需求以及其地下根茎未能拓展到缓解土壤水分含量压力的深度直接导致了菖蒲幼苗的死亡,即水位埋深过小导致的低土壤水分含量对菖蒲幼苗生长形成一定胁迫.

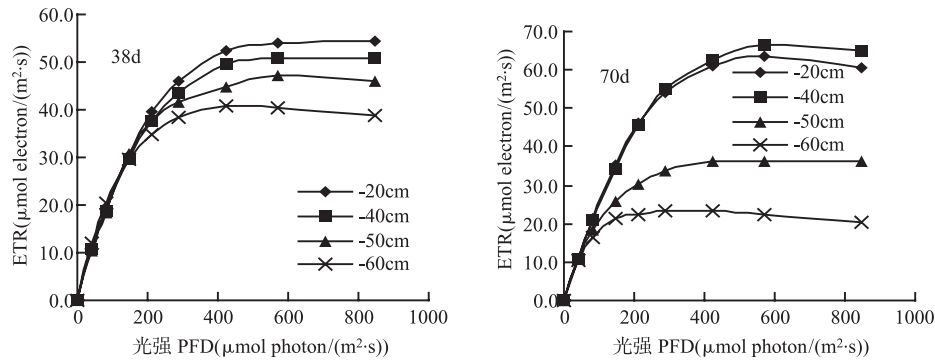


图7 试验第38d和70d各试验组快速光响应曲线变化

Fig.7 The average rapid-light curves of *Acorus calamus* leaf on the 38th and 70th day

(2)菖蒲对环境的适应主要是由其自身的组织结构特点和生理生化活动的特性决定的.菖蒲主要通过减小叶片面积,减少叶片数量等策略来降低蒸腾量,以避的方式抵制低水位埋深,利用有限的可利用水分维持生命活动.水位埋深过小导致的低土壤水分含量使Chl.a、Chl.b和Car含量降低,植物通过形态调节和减少色素含量来减少叶片对光能的捕获.同时,水位埋深过小导致的低土壤水分含量使菖蒲叶片细胞膜脂过氧化加剧,质膜透性迅速增大.

(3)快速光响应曲线的测定进一步揭示水位埋深对菖蒲幼苗叶片光合作用有显著影响.水位埋深越小, $ETR_{max}$ 和最小饱和光照强度越低,光响应能力越弱.

当然,高等植物的萌发和生长与诸多环境要素有关.对本试验研究而言,虽然气象条件和水源(取水补给)都较一致,但由于水位埋深的差异可能导致土壤氧化还原电位、土壤中可利用养分浓度的差异,从而也会影响植物的萌发与幼苗生长.因此在未来需要结合水位埋深控制,进一步监测分析其他环境要素对植物生长的影响.

#### 4 参考文献

- [1] Vasilas LMM, Vasilas BL. Wetland restoration and creation design to restore wetland functions. USA: ASCE, 2005.
- [2] 贾忠华, 罗 纨, 王文焰等. 对湿地定义和湿地水文特征的探讨. 水土保持学报, 2001, 15(6): 117-120.
- [3] 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.
- [4] 崔保山, 刘兴土. 三江平原挠力河流域湿地生态特征变化研究. 自然资源学报, 2001, 16(20): 107-114.
- [5] 谭学界, 赵欣胜. 水深梯度下湿地植被空间分布与生态适应. 生态学杂志, 2006, 25(12): 1460-1464.
- [6] 布东方, 胡金明, 周德民等. 不同水位梯度小叶章叶绿素含量试验研究. 湿地科学, 2006, 4(3): 227-232.
- [7] 王 丽, 胡金明, 宋长春等. 水位梯度对三江平原典型湿地植物根茎萌发及生长的影响. 应用生态学报, 2007, 18(11): 2432-2437.
- [8] 杨 旻, 吴小刚, 周连凤等. 菖蒲对不同程度富营养化水体的净化作用研究. 环境科学与管理, 2007, 32(10): 77-80.
- [9] 周守标, 王春景, 杨海军等. 菖蒲和菖蒲在污水中的生长特性及其净化效果比较. 应用与环境生物学报, 2007, 13(4): 454-457.
- [10] 张维昊, 周连凤, 吴小刚等. 菖蒲对铜绿微囊藻的化感作用. 中国环境科学, 2006, 26(3): 355-358.
- [11] 仇 硕, 黄苏珍, 王鸿燕. Cd胁迫对黄菖蒲幼苗4种抗氧化酶活性的影响. 植物资源与环境学报, 2008, 17(1): 28-32.

- [12] Arnon DI. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiol*, 1949, **24**(1): 1-15.
- [13] 朱广廉, 钟海文, 张爱琴. 植物生理实验. 北京: 北京大学出版社, 1990.
- [14] 王韶唐编. 植物生理学实验指导. 西安: 陕西科学技术出版社, 1987: 150-152.
- [15] 李 强, 王国祥, 潘国权等. 水体浊度对菖草萌发及萌发苗光合荧光特性的影响. *生态学报*, 2006, **26**(11): 3594-3601.
- [16] 李 伟, 曹坤芳. 干旱胁迫对不同光环境下的三叶漆幼苗光合特性和叶绿素荧光参数的影响. *西北植物学报*, 2006, **26**(2): 266-275.
- [17] 米海莉, 许 兴, 李树华等. 水分胁迫对牛心朴子、甘草叶片色素、可溶性糖、淀粉含量及碳氮比的影响. *西北植物学报*, 2004, **24**(10): 1816-1821.
- [18] 李 明, 王根轩. 干旱胁迫对甘草幼苗保护酶活性及脂质过氧化作用的影响. *生态学报*, 2002, **22**(4): 503-507.
- [19] Schreiber U, Gademann R, Ralph J *et al.* Assessment of photosynthetic performance of prochloron in *lissoclinum patella* in hospite by chlorophyll fluorescence measurements. *Plant Cell Physiol, Tokyo*, 1997, **38**: 945-951.

### 《湖泊科学》发表论文网络点击、下载前 20 篇

(不含与高被引论文统计前 20 名重复的论文)

- 北京官厅水库——永定河水系水体中持久性有机氯农药污染. *湖泊科学*, 2003, **15**(2).
- 巢湖富营养化研究进展. *湖泊科学*, 2003, **15**(4).
- 沉积物中有机质的环境行为研究进展. *湖泊科学*, 2001, **13**(3).
- 氮及磷比附着藻类及浮游藻类的影响. *湖泊科学*, 2007, **19**(2).
- 底泥疏浚效果及环境效应研究进展. *湖泊科学*, 2007, **19**(1).
- 浮游植物叶绿素 a 含量测定方法的比较测定. *湖泊科学*, 2000, **12**(2).
- 美国 Apopka 湖的富营养化及其生态恢复. *湖泊科学*, 2005, **17**(1).
- 人工湿地对城市污染河水的净化效果及机理. *湖泊科学*, 2007, **19**(1).
- 人工湿地植物的选择. *湖泊科学*, 2004, **16**(1).
- 人工湿地植物根区微生物与净化效果的季节变化. *湖泊科学*, 2004, **16**(4).
- 四种沉水植物的克藻效应. *湖泊科学*, 2005, **17**(1).
- 太湖底泥和疏浚堆场中持久性有机污染物的分布及潜在生态风险. *湖泊科学*, 2007, **19**(1).
- 太湖富营养化现状及原因分析. *湖泊科学*, 2008, **20**(1).
- 太湖湖滨带的生态建设. *湖泊科学*, 2002, **14**(1).
- 太湖湖泊生态系统健康评价. *湖泊科学*, 2005, **17**(3).
- 太湖流域水污染控制与生态修复的研究与战略思考. *湖泊科学*, 2006, **18**(3).
- 太湖梅梁湾 2007 年蓝藻水华形成及取水口污水团成因分析与应急措施建议. *湖泊科学*, 2007, **19**(4).
- 太湖水华成因及控制途径初探. *湖泊科学*, 1996, **8**(1).
- 香蒲、灯心草人工湿地的研究——III. 净化污水的机理. *湖泊科学*, 1998, **10**(2).
- 藻类对重金属的耐性与解毒机理. *湖泊科学*, 2004, **16**(3).

说明: 据 [www.jlakes.org](http://www.jlakes.org) 和 [www.cnki.net](http://www.cnki.net) 有关《湖泊科学》论文点击/下载量不完全统计/整理. 仅供参考. 以上论文 [www.jlakes.org](http://www.jlakes.org) 均可下载.