

土壤水分含量对菖蒲 (*Acorus calamus*)  
萌发及幼苗生长发育的影响

曹 昀 ,王国祥\*

(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 ,江苏 南京 210046 )

摘要 :应用盆栽试验方法 ,采用完全随机试验设计 ,研究了菖蒲在不同土壤水分含量下的萌发和幼苗生长。试验共设 6 个处理 ,处理时间为 60d。结果表明 : (1)水分亏缺对菖蒲萌发和幼苗有不同程度的影响 ,在持续干旱 60d 条件下 ,菖蒲幼苗的萌发率仅为 32.5% ,为正常水分条件下的 1/3 ,幼苗的平均高度为 19.0cm ,是正常水分条件下的 1/3 左右 ; (2)菖蒲幼苗叶片长度、宽度和基茎随土壤水分含量降低而减小 ,叶片数量与叶片面积也随土壤水分含量降低而减小 ,叶片含水率各试验组无明显差异 ; (3)在试验的 20、40、60d ,各试验组的根、茎、叶及总生物量都比对照组 (CK)有不同程度的降低 ,并随试验时间的延长 ,各水分含量条件下的生物量差别增大 ,在不同土壤水分条件下 ,根、茎和叶生物量增量均表现为茎的最多 ,叶的次之 ,根的最少 ,叶、茎、根生物量比例平均为 1:1.59:0.82 ; (4)菖蒲幼苗叶片的叶绿素 a、b 随土壤水分含量减少而下降 ,叶绿素 a/b 随土壤水分含量减少而下降而升高 ,类胡萝卜素 (Car)含量随土壤水分含量减少而下降 ; (5)  $F_v/F_m$ 、 $qP$  随土壤水分含量降低而下降 ,重度干旱对菖蒲幼苗光合系统 PS II 的最大量子产量影响显著 ,菖蒲幼苗在重度干旱条件下 30、45、60d 的  $F_v/F_m$  分别为 0.800、0.796、0.787 ,分别比对照降低 5.0%、4.7% 和 6.2% ,菖蒲幼苗在重度干旱条件下 30、45、60d 的  $qN$  分别为 0.270、0.259 和 0.200 ,分别是对照的 6.75、3.92、2.78 倍 ,可见干旱条件会导致菖蒲幼苗以热的形式耗散掉的光能部分增加 ,有效保护了菖蒲叶片 PS II 系统 ,但持续干旱 (60d)导致  $qN$  降低 ,菖蒲叶片 PS II 系统受到不同程度的破坏 ,干旱胁迫还对菖蒲植株的光响应曲线具有较大的影响 ,使最大 ETR 降低。

关键词 :土壤水分含量 ;菖蒲 ;萌发 ;幼苗生长 ;叶绿素荧光

文章编号 :1000-0933 (2007)05-1748-08 中图分类号 :Q945 Q948 文献标识码 :A

Effects of soil water content on germination and seedlings growth of Sweet Flag

CAO Yun ,WANG Guo-Xiang\*

College of Geographical Science , Nanjing Normal University , Jiangsu Key Laboratory of Environmental Change and Ecological Construction , Nanjing 210046 , China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (5) 1748 ~ 1755.

**Abstract :** Soil water content is a crucial factor for the growth of wetland plants. Its influence on germination and seedling growth of sweet flag (*Acorus calamus*) were studied by pot culture experiment and complete random design. The rhizomes with buds were cultured in small plastic basins. The soil thickness was 25 cm in each small plastic basin. Six soil samples

基金项目 :国家教育部科技创新工程重大项目培育基金资助项目 (705824-2) ;江苏省重点科技专项资助项目 (BM2002701) ;国家 863 专项资助项目 (2003AA601100-2)

收稿日期 :2006-08-18 ;修订日期 :2007-02-24

作者简介 :曹昀 (1974 ~ ) ,男 ,甘肃庆阳人 ,博士生 ,从事植物生态学研究. E-mail :yun.cao@163.com

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

**Foundation item :** This work was financially supported by Breeding Project Fund for Major Innovative Engineering in Science and Technology , Ministry of Education , China (No. 705824-2) , Key Special-program of Science and Technology , Jiangsu Province (No. BM2002701) and National 863 Program (No. 2003AA601100-2)

**Received date** 2006-08-18 ; **Accepted date** 2007-02-24

**Biography** CAO Yun , Ph. D. candidate , mainly engaged in plant ecology. E-mail :yun.cao@163.com

with water content of 10% ,20% ,30% ,35% ,40% and 55% , respectively , were established and their water contents were maintained during the whole 60 days' experimental period. Germination ratio , growth parameters of leaves and stems , pigment of leaves , photosynthetic fluorescence parameters of sweet flag were measured. The experimental results indicated : (1 ) Water content had significant effects on germination and seedlings growth of Sweet Flag. Germination ratio and average seedlings height under continuous drought condition were just one thirds of that under normal growth condition ; (2 ) seedling height , leaf width , rhizome diameter , leaf number and leaf area reduced with the decreasing soil water content , but no obvious difference of leaf water content was observed ; (3 ) In comparison with CK , the biomass of root , rhizome and leaf and total biomass of every treatment reduced to different extent on the 20<sup>th</sup> , 40<sup>th</sup> and 60<sup>th</sup> day. With the increase of time , the biomass differences among the soils with different water contents were increased. Ratio of biomass among leaf , rhizome and root was 1 : 1.59 : 0.82 on average , indicating that biomass increase of rhizome is the largest , while that of root is the least. ; (4 ) Chl a , chl b and carotenoid of seedlings leaf reduced , but chlorophyll a / chlorophyll b ratio increased with decrease of soil water content ; (5 ) *Fv/Fm* and *qP* decreased with the increase of soil water content. Severe drought had obvious effects not only on *Fm* , but also on *qN* which decreased to different extent on day 45 and 60 , indicating that the photosystem apparatus — PS II was destroyed to different degree. Dramatic effects of drought stress on light curve of Sweet Flag were also observed , thus leading to the decrease of maximum ETR.

**Key Words :** soil water content Sweet Flag germination seedlings growth chlorophyll fluorescence

土壤水分是影响植物生长发育的重要因子 , 也是决定植被地理分布和限制作物产量的主要因素。当植物耗水大于吸水时 , 就使植物组织内水分亏缺 , 过度水分亏缺使正常生理活动受到干扰的现象 , 称为干旱。对于湿地植物 , 干旱是胁迫其生长的重要因素之一。

菖蒲 (*Acorus calamus*) 为多年生湿地挺水草本植物 , 广布于温带、亚热带 , 我国各地均有分布。生于河流、湖泊岸边浅水处以及沼泽湿地 , 冬季以地下茎潜入泥中越冬。冬春季节河湖等水体处于枯水期 , 菖蒲生长的浅水区域经常处于露滩状态 , 水位及露滩时间的长短直接影响滩地土壤水分含量 , 并影响菖蒲的萌发、生长及分布 , 因此 , 研究土壤水分含量对菖蒲萌发及生长的影响 , 可以揭示菖蒲萌发、生长及分布的制约因素 , 为湿地生态系统保育和植被恢复重建提供依据。

以往的研究主要是探讨养分对菖蒲形态和生物量的影响 , Pai<sup>[1]</sup>研究了湿地土壤环境对菖蒲密度和根状茎生物量 , 其研究表明菖蒲根状茎长度、生物量、叶片数量与土壤中钙相关 , 根的密度随盐分和氮的升高而增加 , 但随有机物含量的增加而减少 , 认为菖蒲是对环境压力耐受强的物种 , 密度和根状茎生物量对环境中营养物变化表现出很大的可塑性。Vojtiskova<sup>[2]</sup>研究了不同营养条件下菖蒲的生长与生物量积累 , 认为浓度大于 18.5 mmol/L 的氮对菖蒲的生长有很大的影响 , 而浓度大于 1.5 mmol/L 的磷则对菖蒲的生长没有显著影响。但就湿地土壤水分对菖蒲影响研究尚未见 , 而且环境因素对菖蒲生理生态特性的影响研究也很少见。

植物叶绿素与光合作用中各种反应过程紧密相关 , 而叶绿素荧光参数是叶绿素生理活性的重要指标 , 叶绿素荧光探针能够探测许多有关植物光合作用的信息<sup>[3]</sup>。用饱和脉冲叶绿素荧光仪快速、无损伤测定菖蒲的叶绿素荧光参数变化 , 可以研究菖蒲在环境压力下形成的独特的光合作用特征 , 揭示湿生水生植物对干旱等逆境条件的生理生态响应机制。

1 材料与方法

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“水环境生态修复中试平台”内进行。2006 年 2 月从南京市仙林大学城九乡河湿地采集野生的菖蒲根状茎 , 根据芽的位置切成 2 ~ 3cm 的小段 , 栽培到 25cm 深的盆 (每盆 15 段) 中试验 (土壤基质为沙壤土)。土壤水分含量设置 6 个处理组 : 对照 CK , 水分始终饱和 , 轻度胁迫 (C1 , C2) , 中度胁迫 (C3 , C4) , 重度胁迫 (C5) , 每组设 3 个重复。每天 19 00 用 HH2 型土壤湿度计 (Moisture Meter) 测定土壤水分含量 , 并补充水分 , 使土壤水分含量保持在设定的范围内 (表 1)。

1.1 形态学指标测定

每周统计测量菖蒲的萌发率、幼苗的高度、茎径、叶片数、叶片的长宽,各指标求平均值后比较。在试验的 20d、40d、60d 每组收割 5 株,分叶、根状茎和根在 80℃ 下恒温烘干至恒重,称量,计算生物量平均值。

表 1 试验各组土壤水分含量 (%)  
Table 1 Changes of soil water content (%)

试验组 Groups	CK	C1	C2	C3	C4	C5
土壤水分含量 (%)	55.0 ± 0.5	40.0 ± 0.5	35.0 ± 0.5	30.0 ± 0.5	20.0 ± 0.5	10.0 ± 0.5

叶片含水率采用烘干称重法:各组随机选取 5 片菖蒲幼苗叶片,测定样品叶片的鲜重,80℃ 烘至恒重后再称干重,计算叶片的含水率:含水率 (%) = (鲜重 - 干重) / 鲜重 × 100%。

1.2 叶片色素测定

叶绿素和类胡萝卜素含量的测定,采用 Arnon 法<sup>[4]</sup>。

1.3 叶片叶绿素荧光参数的测定

在试验 30d、45d、60d 的早晨 8:00,用饱和脉冲叶绿素荧光仪 Diving Pam (德国 Walz 公司)和数据采集软件 Wincontrol 进行测定,光化光强度设定为 2,饱和光强度为 6,每一处理随机选择 5 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。连体叶片使用叶夹遮光处理(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(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

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

光化学淬灭系数

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

非光化学淬灭系数

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

1.4 菖蒲叶片的快速光响应曲线

用 Diving Pam 测定,初始光照强度为 2,饱和光强度为 6,时间间隔为 10 s,测得不同光照强度下的快速光响应曲线。

2 结果与分析

2.1 土壤水分含量对菖蒲的萌发及幼苗生长有显著影响

试验结果表明,菖蒲的萌发率与土壤水分含量有显著性相关,土壤水分含量越低(干旱程度越高),菖蒲萌发率越低。菖蒲在各水分含量下试验 19d 萌发率出现明显差别,萌发率随土壤含水率减少而降低,其中 CK (萌发率 75%)与 C5 (萌发率 10%)有极显著差异。试验的 19~60d,各组的萌发率增加不大,60d 对照(CK)的萌发率为 95%,与轻度胁迫(C1、C2)和中度胁迫(C3、C4)有显著差异,与重度胁迫 C (32.5%)存在及显著差异 ( $p < 0.01$ ) (图 1)。经方差分析,各土壤水分含量条件下菖蒲根状茎的萌发率之间存在显著性差异 ( $p < 0.001$ ) (表 2)。试验 19~60d,菖蒲根状茎的萌发率与土壤水分含量呈显著正相关(表 3)。

表 2 菖蒲幼苗萌发率单因素方差分析

Table 2 One-way ANOVA of sweet flag's germinating ratio						
差异源	平方和	自由度	均方	F 值	显著性	F 临界值
Source of variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
组间 Between groups	20648.78	5	4129.76	281.646	0.0000	2.438
组内 With in groups	615.84	42	14.66			
总计 Total	21264.62	47				

表 3 菖蒲幼苗萌发率与土壤水分含量的相关性

Table 3 The correlations between sweet flag's germinating ratio and soil water content									
试验天数 Day of experiment (d)	19	26	32	37	43	47	52	56	60
相关系数 Correlation coefficient	0.951	0.955	0.959	0.953	0.958	0.945	0.952	0.949	0.944

试验前 20d ,试验各组菖蒲幼苗的平均高度差异不显著。试验 60d ,对照组 (CK )的幼苗平均高度为 52. 6cm、与轻度胁迫组 (C1 )差异不显著 ,与 C2、C3 和 C4 有显著差异 ( $p < 0. 05$  ) ,而重度胁迫 (C5 )幼苗平均高度为 19. 0 cm ,与对照组 (CK )存在极显著性差异 (图 2 )。经方差分析 ,各土壤水分含量条件下菖蒲幼苗平均高度之间存在显著性差异 ( $p < 0. 001$  ) (表 4 )。试验 19 ~ 60d ,菖蒲幼苗的平均高度与土壤水分含量呈显著正相关 (表 5 )。

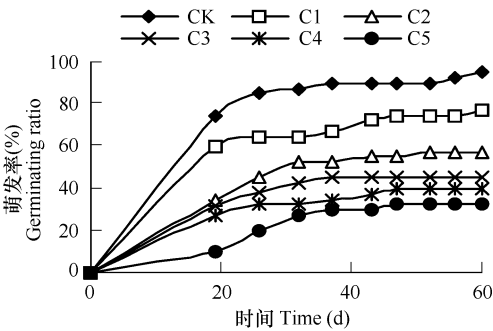


图 1 菖蒲幼苗的萌发率  
Fig. 1 Germinating ratio of sweet flag

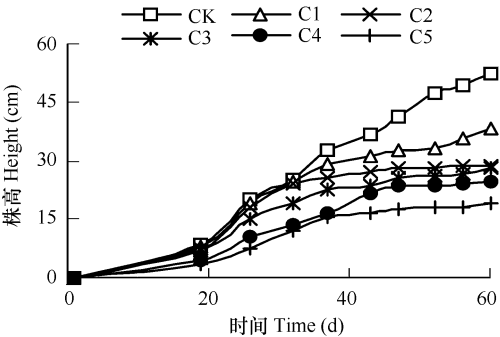


图 2 菖蒲幼苗的生长  
Fig. 2 Growth of sweet flag's seedlings

表 4 菖蒲幼苗高度方差分析

Table 4 One-way ANOVA of sweet flag's height						
差异源	平方和	自由度	均方	F 值	显著性	F 临界值
Source of variation	SS	df	MS	F	p-value	F crit
组间 Between groups	2430. 20	5	486. 04	6. 034	0. 0002	2. 409
组内 With in groups	3866. 73	48	80. 56			
总计 Total	6296. 93	53				

表 5 菖蒲幼苗高度与土壤水分含量的相关性

Table 5 The correlations between sweet flag 's height and soil water content									
试验天数 Day of experiment (d )	19	26	32	37	43	47	52	56	60
相关系数 Correlation coefficient	0. 964	0. 973	0. 944	0. 982	0. 983	0. 970	0. 936	0. 940	0. 928

菖蒲幼苗在土壤水分含量 35. 0% 以上最终萌发率为 57. 5% ,且生长良好 ,平均高度为 28. 7cm。土壤水分含量 30. 0% 以下 ,菖蒲的萌发受到显著影响 ,萌发率下降至 40% ~ 32. 5% ,则生长缓慢。由于菖蒲的自然生境主要位于水边潮湿区域 ,水分亏缺对其萌发和生长都会造成一定的影响 ,在持续干旱条件下 ,菖蒲幼苗的萌发率仅为 32. 5% ,为正常水分条件下 (CK )的 1/3 ,幼苗的平均高度为 19. 0cm ,是正常水分条件下的 1/3 左右。

2.2 土壤水分含量对菖蒲茎、叶特征的影响

菖蒲幼苗叶片长度、宽度和基茎随土壤水分含量降低而显著下降 ,叶片数量与叶片面积也随土壤水分含量降低而减小 ,叶片含水率在各试验组无明显差异。叶片长度与面积随土壤水分含量降低下降极为显著 ,正常水分条件下 (CK )平均叶片长度为 48. 9cm ,中度胁迫 C3 和 C4 平均叶片长度为 25. 5cm 和 23. 5cm ,分别比 CK 下降了 48% 和 52% ;重度胁迫条件下的平均叶片长度为 18. 2cm ,比 CK 下降了 63%。叶片面积下降更为显著 ,C5 的叶片面积 6. 2cm<sup>2</sup> 仅为 CK 叶片面积 (32. 5cm<sup>2</sup> )的 19%。结果表明 ,轻度干旱胁迫对菖蒲幼苗叶片生长无显著影响 ,但中度和重度胁迫对叶片生长影响较明显 ,土壤水分含量越低则影响越强。

虽然土壤水分含量降低 ,但菖蒲通过减少叶片数量和叶片面积减少水分蒸发量。Grime 模型<sup>[5]</sup>与 Tilman 模型<sup>[6, 7]</sup>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。菖蒲幼

苗在干旱条件下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 ,所以各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 (图 3 )。

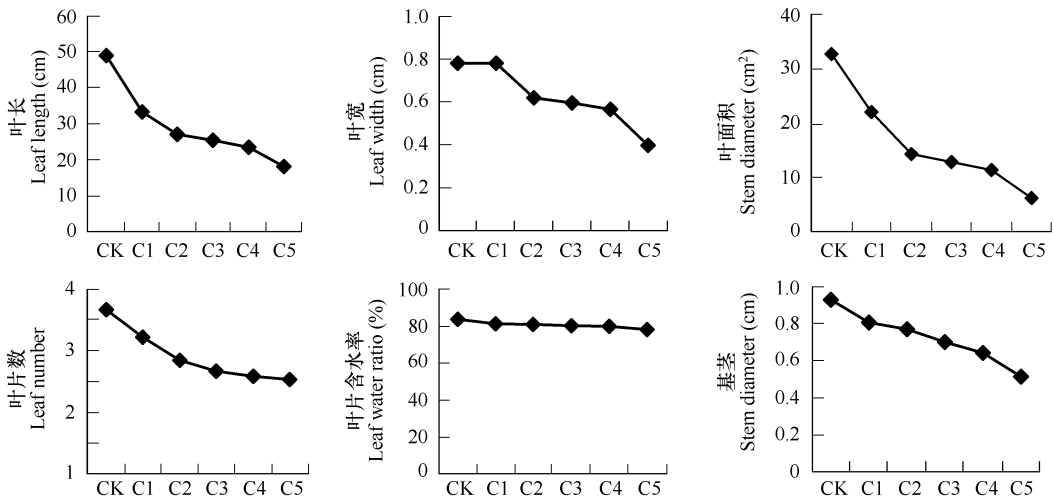


图 3 菖蒲茎、叶的特征比较  
Fig. 3 Variation of stem and leaf of sweet flag 's Seedlings

2.3 土壤水分含量对菖蒲生物量形成的影响

在试验的 20d、40d、60d ,各试验组的根、茎、叶及总生物量都比对照组 (CK )有不同程度的降低 ,并随试验时间的延长 ,各水分含量条件下的生物量差别增大。在不同土壤水分条件下 ,根、茎和叶生物量增量均表现为茎的最多 ,叶的次之 ,根的最少 ,叶茎根生物量分配平均为 1:1. 59:0. 82。对照 CK 在 20、40、60d 的总生物量为 6. 14、10. 67g/株和 12. 86g/株 ,分别为重度干旱 (C5 )的 11. 25、9. 21 倍和 9. 92 倍 ,二者存在极显著性差异 ( $p < 0. 01$  )。对照组 (CK )的根、茎、叶及总生物量显著 ( $p < 0. 05$  )高于中度胁迫组 (C3 和 C4 )。菖蒲的生境主要位于池塘、湖泊岸边浅水处 ,环境中的水分对其生物量的积累极其重要 ,只有水分饱和时 ,菖蒲的生物量积累最高 ,土壤水分稍微亏缺 (C1、C2 ) ,其生物量的都有降低。这主要是在水分亏缺条件下 ,菖蒲根系吸收不到足够的水分 ,各器官的生长发育都受到限制 ,首先受到抑制的是细胞增大 ,叶面积减小 ;其次是细胞的增殖 ,影响了叶片数量和面积的增大 ,进而造成植物叶生物量的减少 ,从而有效防止水分在地上叶部的过多消耗来适应干旱环境条件下的生存 (图 4 )。

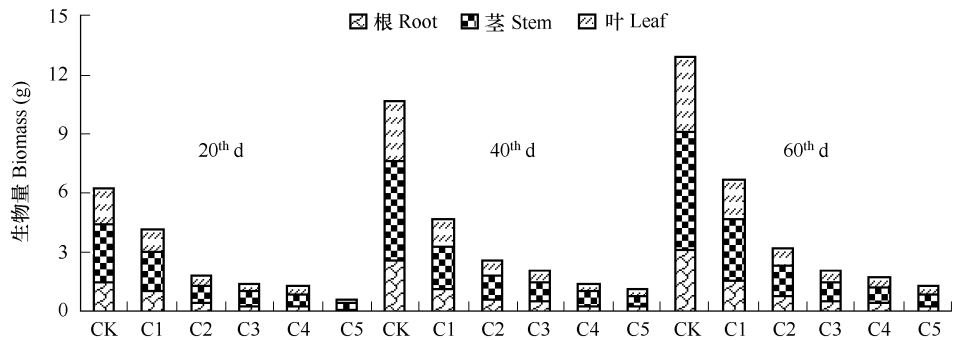


图 4 生物量动态  
Fig. 4 The biomass dynamics of sweet flag's seedlings

2.4 土壤水分含量对菖蒲叶绿素含量的影响

菖蒲幼苗叶片的叶绿素 a、b 随土壤水分含量减少而下降 ,其中对照 CK (chl-a 为 1. 83mg/g ,chl-b 为 0. 62

mg/g)与重度胁迫 C5 (chl-*a* 为 0.89mg/g ,chl-*b* 为 0.27 mg/g )有显著差异 ( $p < 0.05$ ) (图 5a)。这主要是水分亏缺使各种细胞器 ,特别是叶绿体和线粒体受到伤害所致。植物可以通过形态调节和减少色素含量来减少叶片对光能的捕获。干旱胁迫会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。叶绿素 *a/b* 随土壤水分含量减少而下降而升高 ,CK 为 2.95 ,而重度胁迫 C5 为 3.27 ,叶绿素 *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 含量的减少<sup>[8]</sup>。随干旱胁迫的加剧 ,叶绿素含量降低 ,叶绿素 *a/b* 升高 ,说明 LHC II 含量降低 ,干旱导致的叶绿素含量降低、叶绿素 *a/b* 升高均可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 ,也是植物适应干旱和强光胁迫的一种光保护调节机制 (图 5b)。

类胡萝卜素 (Car)含量随土壤水分含量减少而下降 (图 5c) ,重度干旱 (C5)条件下 Car 含量为 0.16mg/g ,明显低于对照 CK 的 Car (0.34 mg/g)。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>[9]</sup>。类胡萝卜素反映植物光能吸收和光保护的关系 ,其值高低与植物耐受逆境的能力有关 ,随干旱胁迫和光强的增加 ,叶片的光合色素遭到破坏 ,类胡萝卜素含量下降 ,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 ,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。

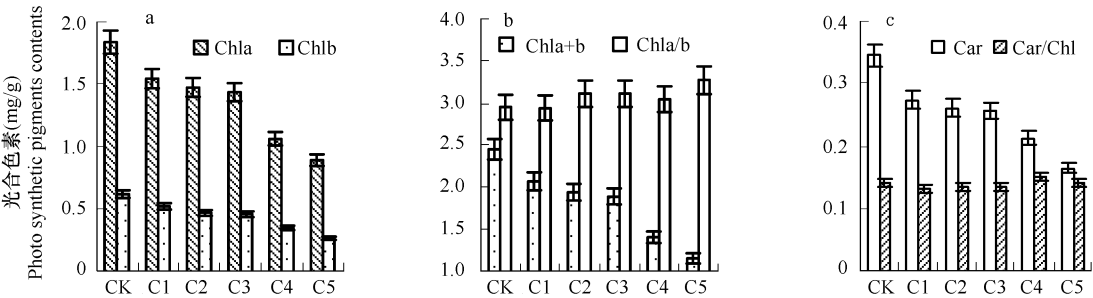


图 5 干旱对菖蒲幼苗叶片光合色素的影响  
Fig. 5 Photo synthetic pigments contents of sweet flag 's seedlings

2.5 土壤水分含量菖蒲叶绿素荧光参数的影响

2.5.1 菖蒲幼苗的  $F_v/F_m$ 、 $qP$ 、 $qN$  比较

在干旱逆境下 ,当光能吸收量超过了光化学反应的利用量 ,且过剩的光能量得不到耗散时 ,就会引起光合机构的破坏 ,其原初损伤部位在 PS II 上。叶绿素荧光参数是评估 PS II 状态良好的指标 ,光系统 II (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。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<sup>[10]</sup>。

$F_v/F_m$  是 PSII 最大光化学量子产量 ,反映 PSII 反应中心内禀光能转换效率或称最大 PSII 的光能转换效率。非胁迫条件下该参数的变化极小 ,胁迫条件下该参数明显下降。在逆境下 ,当光能吸收量超过了光化学反应的利用量 ,且过剩的光能量得不到耗散时 ,就会引起光合系统的破坏 ,其原初损伤部位在 PS II 上。菖蒲的 PS II 最大量子产量反映了当所有的 PSII 反应中心均处于开放态时的量子产量。对照 CK 的  $F_v/F_m$  平均值高于其他各试验组 ,60d 对照 CK 的  $F_v/F_m$  为 0.839 ,重度干旱 C5 的  $F_v/F_m$  为 0.787 ,经方差分析 ,重度干旱 C5 与对照 CK 的  $F_v/F_m$  值存在显著差异 ( $p < 0.05$ )。表明重度干旱对菖蒲幼苗光合系统 PS II 的最大量子产量影响显著 (图 6a)。

光化学荧光淬灭系数  $qP$  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。 $qP$  随土壤水分含量的降低而减小 ,试验第 30d、45d ,对照、轻度和中度干旱组菖蒲幼苗的  $qP$  无显著差异 ;试验第 60 天 ,重度干旱 C5 的  $qP$  (0.766)低于其他各组 ,与对照 CK 的  $qP$  (0.904)存在显著差异。说明菖蒲幼苗在重度干旱条件下 ,天线色素吸收的光能用于光化学电

子传递的份额减少 ,参与 CO<sub>2</sub>固定的电子减少 (图 6b)。

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。 $qN$  随土壤水分含量的降低而增加 ,对照的  $qN$  稍低于轻度和中度干旱组的植物。菖蒲幼苗在重度干旱条件下 30d、45d、60d 的  $qN$  分别为 0.270、0.259 和 0.200 ,分别是对照的 6.75、3.92、2.78 倍。试验前 30d ,重度干旱条件下的菖蒲幼苗以热的形式耗散掉的光能部分增加 ,有效保护了菖蒲叶片 PS II 系统 ,但随干旱时间的持续 ,试验第 45 天和 60 天的  $qN$  逐渐降低 ,可见干旱持续会导致  $qN$  降低 ,菖蒲叶片 PS II 系统受到不同程度的破坏 (图 6c)。

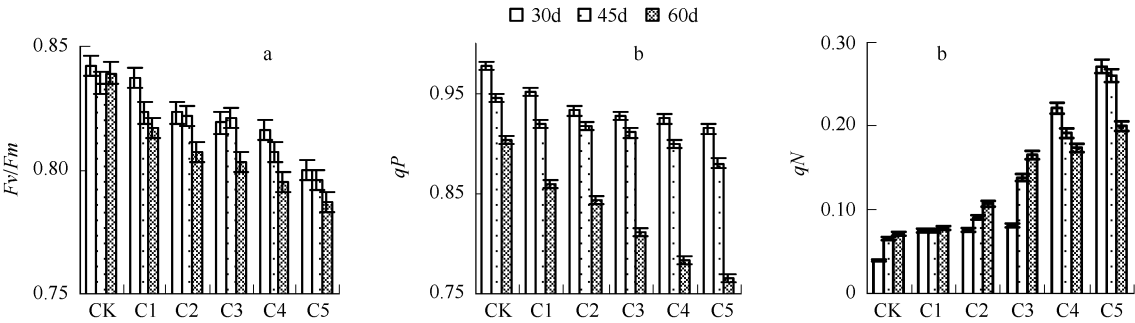


图 6 菖蒲幼苗的  $F_v/F_m$ 、 $qP$ 、 $qN$  比较  
Fig. 6  $F_v/F_m$ 、 $qP$  and  $qN$  of sweet flag 's seedlings

2.5.2 叶片的快速光响应曲线

干旱对菖蒲幼苗叶片光合作用的影响还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>[11]</sup>。快速光响应曲线 (RLC)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菖蒲叶片的实际光化学效率。除了重度干旱组 (C5)的最小饱和光强为 176  $\mu\text{mol photon m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 之外 ,试验其他各组菖蒲幼苗的最小饱和光强皆为 684  $\mu\text{mol photon m}^{-2}\text{s}^{-1}$  ,最大  $ETR$  则出现差异 ,对照 (CK)的最大  $ETR$  为 32  $\mu\text{mol electron m}^{-2}\text{s}^{-1}$  ,高于重度干旱 (C5)ETR 的 105% (15.6  $\mu\text{mol electron m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) (图 8)。

在 100  $\mu\text{mol photon m}^{-2}\text{s}^{-1}$  的低光强下 ,对照组植株的快速光响应曲线与试验组植株并无明显的差异。但随着光照强度的升高 ,对照植株的有效电子传递速率逐渐大于试验植株。在 C1 和 C2 中 ,菖蒲植株的有效电子传递速率无明显的差异 ,但 CK 与 C5 的植株相较 ,显著大于后者 ( $p < 0.05$ )。表明干旱胁迫对菖蒲植株的光响应曲线具有较大的影响 ,这种影响主要体现在随土壤水分含量的减少 ,土壤可利用水分减少对植株的影响加剧。

3 小结

缺水问题一直是限制生态恢复和农业生产的最主要因素之一 ,即使是降水较多的地区也普遍存在季节性和非周期性干旱问题。因此研究植物对不同强度干旱胁迫的应对对生态系统保育和破坏区域植被恢复具有重要的意义。

研究表明菖蒲具有一定的耐旱能力 ,但土壤水分含量明显影响到其萌发生长和生物量的积累。菖蒲可以作为生态系统保育和破坏区域植被恢复的主要植物物种之一 ,尤其是河岸江滩等岸边带的生态恢复。菖蒲对

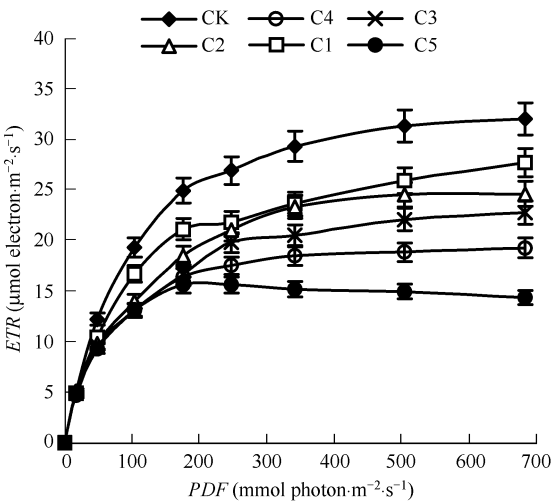


图 7 实验第 45 天各处理平均快速光响应曲线  
Fig. 7 The average rapid-light curves in each treatment 45 days later

干旱环境的适应主要是决定其自身的生理生化活动的特性和组织结构特点,菖蒲主要通过个体变小,叶片数量和面积减少,生长速率减缓等策略来降低蒸腾量,以避的方式抗旱,利用有限的可利用水分维持生命活动,达到了植物叶片水分含量与土壤可利用水分的平衡。干旱使叶绿素含量降低,叶绿素 *a*、*b* 和总叶绿素含量表现出相同规律。菖蒲幼苗在重度干旱 (60d 不浇水) 条件下,虽然叶绿素含量下降,但并没有影响到幼苗的存活。Carter 和 Sheaffer<sup>[12]</sup>对植株密度为 200 株/m<sup>2</sup>的人工苜蓿草地实施高、中高、中低和零水平的灌水处理,发现高和中高水平处理下单位面积产量总是相当接近。本文实验设计了 3 种不同类型的干旱胁迫,轻度与中度干旱的生物量与对照存在显著差异,重度干旱与对照存在极显著性差异,所以,只要有干旱胁迫,即使是轻度干旱也会导致菖蒲地上生物量降低。

植物受到中、高度胁迫时,主要是由非气孔因素,即蛋白质分解大于合成,叶绿体分解加强,叶绿素含量下降,从而导致光合降低。菖蒲幼苗在重度干旱条件下,PSII 最大光化学量子产量 *F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>*、光化学荧光淬灭系数 *qP* 会显著下降,菖蒲幼苗将不能用于电子传递的光能部分以热的形式耗散掉,非光化学淬灭 *qN* 上升,是菖蒲保护 PS II 的重要机制,但持续干旱 45d 后,这种保护机制逐渐下降 (*qN* 逐渐下降),菖蒲叶片 PS II 系统在持续干旱条件下会遭到不同程度的破坏。

References :

[1 ] Pai A , McCarthy B C. Variation in shoot density and rhizome biomass of *Acorus calamus* L. with respect to environment. *Castanea* 2005 ,70 (4 ) : 263 — 275.

[2 ] Vojtiskova L , Munzarova E , Votrubova O , *et al.* Growth and biomass allocation of sweet flag (*Acorus calamus* L. ) under different nutrient conditions. *Hydrobiologia* ,2004 ,518 9 — 22.

[3 ] Zhang S R. A Discussion on Chlorophyll Fluorescence Kinetics Parameters and Their Significance. *Chinese Bulletin of Botany* ,1999 ,16 (4 ) :444 — 448.

[4 ] Arnon D I. Copper Enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physio* ,1949 ,24 (1 ) :1 — 15.

[5 ] Grime J P. *Plant Strategies and Vegetation Processes*. London : Willey ,1997.

[6 ] Tilman D. *Resource Competition and Community Structure* . Princeton , NJ :Princeton University Press. 1982.

[7 ] Tilman D. *Plant Strategies and the Dynamics and the Structure of Plant Communities*. Princeton NJ :Princeton University Press. 1980.

[8 ] Anderson J M , Aro E M. Granastacking and protection of photosystem II in thylakoid membranes of higher plant leaves under sustained high irradiance a hypothesis. *Photosynthesis Research* ,1994 ,41 315 — 326.

[9 ] Mi H L , Xu X , Li S H , *et al.* Effects of soil water stress on contents of chlorophyll , soluble sugar , starch , C/N of two desert plants (*Cynanchum komarovii* and *Glycyrrhiza uralensis* ). *Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica* ,2004 ,24 (10 ) .1816 — 1821.

[10 ] Hui H X , Xu X , Li Q R. Exogenous betaine improves photosynthesis of *Lycium barbarum* under salt stress. *Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica* ,2003 ,23 (12 ) 2137 — 2422.

[11 ] Schreiber U , Gademann R , Ralph P 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.

[12 ] Carter P R , Sheaffer C C. Alfalfa response to soil water deficits I. growth , forage quality , yield , water use , and water use efficiency. *Crop Science* ,1983 ,23 :669 — 675.

参考文献 :

[3 ] 张守仁. 叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论. *植物学通报* ,1999 ,16 (4 ) :444 ~448.

[9 ] 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.

[10 ] 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.