

地下水位深度对芦苇生长与叶绿素荧光参数的影响

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, 江苏 南京 210046)

[摘要] 在直径 35.5 cm、深 100 cm 的试验桶内装填 80 cm 高的江沙, 调节并控制地下水位深度分别为 -60 cm、-40 cm、-20 cm 和 0 cm, 引种芦苇根状茎, 模拟研究江滩湿地地下水位深度变化对芦苇生长发育的影响, 为江滩湿地生态系统保育和植被恢复重建提供依据。试验结果表明: 随着地下水位深度降低, 芦苇植株高度和节间数极显著降低 ($p < 0.01$), 叶片叶绿素含量减小, 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; 最大 PSII 的光能转换效率 (F_v/F_m) 下降; 电子在光合链中的传递速率 ($rETR$) 下降, 参与 CO_2 固定的电子减少; 吸收的光能用于光化学电子传递的份额 (qP) 减少; 光能以热的形式耗散掉的份额 (qN) 增多, 光合作用下降。-60 cm 处理组芦苇植株在试验 31 d 相继死亡, 持续的低地下水位深度使 PSII 遭到损伤, 芦苇生长受到抑制。其它各处理组随着试验时间的延长, 植株进一步生长, F_v/F_m 值、 $rETR$ 值和 qP 值上升, qN 值下降, 但组间差异减小, 地下水位深度对植株生长影响减弱。

[关键词] 芦苇, 地下水位深度, 叶绿素含量, 叶绿素荧光

[中图分类号] Q 945 [文献标识码] A [文章编号] 1001-4616(2008)03-0091-05

Effects of Groundwater Depth on the Growth and Chlorophyll Fluorescence Parameters of *Phragmites australis*

Liu Yu Wang Guoxiang Pan Guoquan

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

Abstract Effects of groundwater depth on the growth of *Phragmites australis* by simulating the littoral hydrological conditions in the wetland were studied so that theoretical foundations for wetland protection and vegetation restoration could be supplied. The *Phragmites australis* rhizomes were planted in the barrels (whose diameter is 35.5 cm and depth is 100 cm) with river sands of 80 cm depth. Four treatments were set as -60 cm, -40 cm, -20 cm and 0 cm and three replicates were set for each treatment. The results were as follows: While groundwater depth decreases, plant height and plant internode number decrease very significantly ($p < 0.01$) and chlorophyll content also decreases, indicating that plant decreases light capture by the way of morphological adjustment and chlorophyll content reduction. Maximal photochemical quantum yield (F_v/F_m), relative photosynthetic electron transport rate ($rETR$) and photochemical quenching coefficient (qP) positively correlate with groundwater depth and non-photochemical quenching coefficient (qN) negatively correlate with groundwater depth. The -60 cm treatment begins to die on the 31st day, showing that continuing lower groundwater depth makes PSII destroyed, so that -60 cm groundwater depth has negative effects on *Phragmites australis*. As time goes by, plant grows and F_v/F_m , $rETR$ and qP of other treatments increase and qN decreases, but the group differences reduce which indicate that the effects of groundwater depth decrease.

Key words *Phragmites australis*; groundwater depth; chlorophyll content; chlorophyll fluorescence

水是湿地生态系统中最为重要的环境因子。地表水、地下水深浅直接影响湿地植物的生长、发育及分布, 因此, 水位梯度变化对湿地植物的影响是湿地生态学重要的研究内容之一。当前, 对湿地水位梯度的研究多侧重于地上水位, 且以淹水胁迫为主^[1-3], 地下水位深度变化对湿地植物的影响研究较少且以野外调

收稿日期: 2007-12-03

基金项目: 教育部科技创新工程重大项目培育基金 (705824)、国家“十五”“211 工程”重大项目 (70582422) 资助项目。

通讯联系人: 王国祥, 教授, 博士生导师, 研究方向: 水环境的生态修复。E-mail: wangguoxiang@njnu.edu.cn

查^[46]为主。

芦苇 (*Phragmites australis*), 禾本科, 芦苇属, 多年生水生或湿生的高大禾草, 广泛分布于我国温带地区。生长于池沼、河岸、河溪边等季节性和非周期性地下水位深度变化较大的浅水地区。地下水位深度变化影响芦苇的生长、发育及分布, 研究地下水位深度变化对芦苇生长发育的影响, 可以揭示芦苇生长发育及分布的制约因素, 为湿地生态系统保育和植被恢复重建提供依据。

地下水位深度变化可导致植物叶片相对含水量变化, 进而影响叶绿素的生物合成和已合成的叶绿素分解, 在一定范围内, 叶绿素含量高低直接影响叶片光合能力^[7]。叶绿素荧光动力学参数是叶绿素生理活性的重要指标, 包含十分丰富的光合作用过程变化的信息, 被视为植物光合作用与环境关系的内在探针^[8]。用饱和脉冲叶绿素荧光仪快速、无损测定芦苇叶叶绿素荧光参数变化, 可以研究芦苇在不同地下水位深度条件下形成的独特的光合作用特征, 揭示水生湿生植物对地下水位深度变化的生理生态响应机制。

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“水环境生态修复中试平台”内进行。

2007年 2月从南京市六合区龙袍镇江滩湿地采集野生芦苇根状茎, 选择形态、色泽基本一致的种到直径 35.5 cm, 深 100 cm 的试验桶中试验 (基质为深度 80 cm 的江沙), 设置 4组地下水位深度处理 (以土壤表面为基准, 低于土面为地下水位深度^[4]), 分别为: - 60 cm、- 40 cm、- 20 cm 和 0 cm (图 1所示), 每组设 3个重复。每天 19 00观察试验桶中水位变化, 使用同一水源补给试验桶中损失的水分, 以保持各试验桶地下水位深度不变。自 3月 13日起观测植株生长状况、叶片叶绿素含量和叶绿素荧光参数, 试验至 5月 13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 芦苇生长指标测定

每周测量各处理植株高、节间数。

1.3 芦苇叶片叶绿素含量测定

叶片叶绿素含量测定每 2周 1次。叶片选择每一处理组植株顶端以下第 4片功能叶, 方法采用 A_{mon}法^[9]。

1.4 芦苇叶片叶绿素荧光参数测定

芦苇叶片叶绿素荧光参数测定每 2~ 3周进行 1次。测定时, 从 7 00开始使用饱和脉冲叶绿素荧光仪 (德国 WALZ 公司) 和数据采集软件 wincontrol 进行。每一组处理随机选择 5株植株顶端以下第 3片功能叶测定叶绿素荧光参数值, 取平均值作比较。叶片使用叶夹遮光处理 (暗适应) 30 min 后, 打开叶夹, 开启检测光 [0.15 μmol/(m² · s)] 得到 F_0 , 再开启饱和脉冲光 (饱和脉冲光强度 4 000 μmol/(m² · s), 持续时间 0.8 s) 得到 F_m , 然后开启 1号光化光 [30 μmol/(m² · s)] 照射 10 s 再经饱和脉冲光和检测光测得 F'_m 、 F_t 按下式计算:

$$\text{光化学最大量子产量 } F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m.$$
$$\text{光化学淬灭系数 } qP = (F'_m - F_t)/(F'_m - F_0).$$
$$\text{非光化学淬灭系数 } qN = (F_m - F'_m)/(F_m - F_0).$$
$$\text{相对光合电子传递速率 } rETR = Yiel \times PAR \times 0.84 \times 0.5^{[10]}.$$

2 结果与分析

2.1 地下水位深度对芦苇生长发育的影响

由图 2可见, 随地下水位深度降低, 芦苇平均株高减小。试验初始 8 d内, 除 - 60 cm 处理组, 其他各处理组植株长势相近。随试验时间的延长, 地下水位深度高低对芦苇株高的影响出现明显差异, 最高地下水位深度组植株增长最为迅速, 最低地下水位深度组植株增长缓慢。试验 8~ 43 d - 4Q - 20和 0 cm 处理组

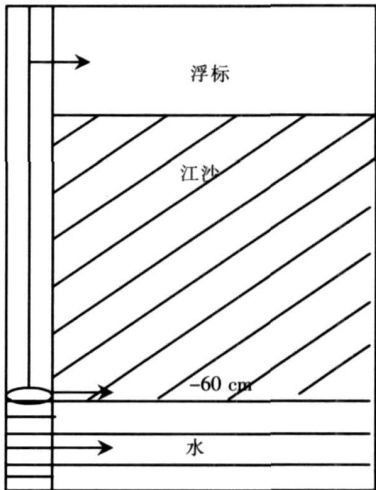


图 1 试验地下水位深度示意图
Fig.1 Sketch map of groundwater depth

平均相对生长速率分别为: 0.044 cm/d 0.034 cm/d和 0.047 cm/d 而 -60 cm 处理组自试验 31 d以后植株增长停滞, 甚至相继死亡; 至第 43 d 0 cm 处理组株高为 217.5 cm, 分别为 -40 cm和 -20 cm 处理组的 2.33和 1.68倍, 组间差异减小, 而 -60 cm 处理组植株全部死亡, -60 cm 地下水位深度对芦苇植株生长造成明显抑制. 方差分析表明, 整个试验期各处理组株高间存在极显著差异 ($p < 0.01$). 相关分析表明, 除第 60 d 株高与地下水位深度显著相关 ($p < 0.05$ 或 $p < 0.01$, 表 1 所示).

由图 3 可见, 各处理组植株平均节间数变化与平均株高变化较为一致. 总体而言, 随地下水位深度降低, 植株平均节间数减少, 各处理组间差异极显著 ($p < 0.01$). 试验期间, -60 cm 处理组植株平均节间数变化不大, 其他各处理组随试验时间的延长节间数增多, 组间差异逐渐减小. 相关分析表明, 除第 60 d 植株平均节间数与地下水位深度呈显著正相关 ($p < 0.05$, 表 2 所示) 关系.

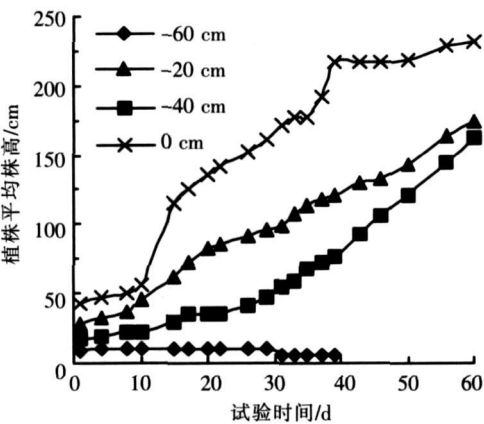


图 2 植株高度变化图
Fig.2 Change of reed's height

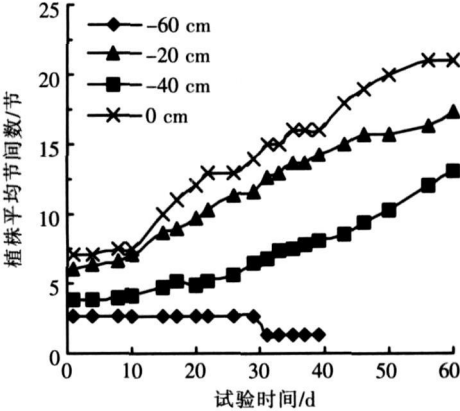


图 3 植株节间数变化图
Fig.3 Change of reed's internode number

表 1 芦苇株高与地下水位深度相关性分析

Table 1 The correlations between reed's height and groundwater depth

试验时间 /d	1	31	43	60
相关系数	0.9911**	0.9926**	0.9876	0.9172

* $p < 0.05$ 差异显著, ** $p < 0.01$ 差异极显著.

表 2 芦苇植株节间数与地下水位深度相关性分析

Table 2 The correlations between reed's internode number and groundwater depth

试验时间 /d	1	31	43	60
相关系数	0.9895	0.9858	0.9792	0.9470

* $p < 0.05$ 差异显著.

2.2 地下水位深度对芦苇叶片叶绿素含量的影响

叶绿素是植物光合作用捕获光能的主要成分, 其含量多少将直接影响叶片的光合能力和植物生长态势^[11]. 如图 4 所示, 总体而言, 芦苇叶片的叶绿素含量随地下水位深度的降低而下降. 地下水位深度与土壤表面持平, 即 0 cm 地下水位深度条件下, 叶片叶绿素含量最高. 随着试验时间的延长, -60 cm 处理组叶片逐渐发黄枯萎, 叶绿素含量降低, 至试验第 43 d 该处理组植株全部枯萎死亡, 这主要是由于低地下水位深度条件下, 低水分含量使各种细胞器, 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^[12]; 其它各处理组叶片叶绿素含量呈现先上升后降低的趋势. 因为各种植物的叶片叶绿素含量都呈现一定的季节性变化, 一株植物的光合速率一般都以营养期为最强, 到生长末期就下降^[13]. 温室特殊的温度和水分条件 (较之室外高), 使生长季节普遍提前. 芦苇植株在生长初期, 叶绿素含量较低, 进入快速生长期后, 叶片叶绿素含量上升, 但随着叶片的成熟, 叶绿素含量又有所降低.

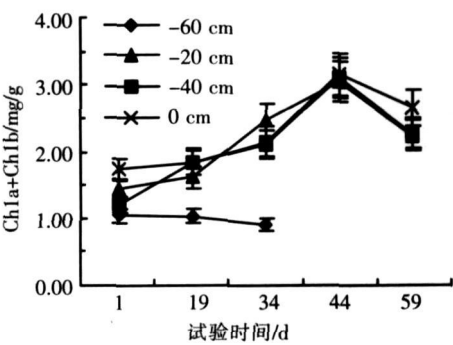


图 4 叶绿素含量变化图
Fig.4 Changes of Chlorophyll content

2.3 地下水位深度对叶片叶绿素荧光参数的影响

最大光化学量子产量 F_v/F_m , 反映了当所有的 PSII 反应中心均处于开放态时的量子产量^[10]. 非胁迫条件下该参数变化极小, 胁迫条件下该参数明显下降^[14]. 由图 5 可见, 试验期间, -40 cm、-20 cm 和 0 cm 三处理组间 F_v/F_m 值差异不显著 ($p < 0.05$); -60 cm 处理组 F_v/F_m 值极显著低于其它三处理组 ($p < 0.01$). 随着试验时间的延长, -40 cm、-20 cm 和 0 cm 处理组 F_v/F_m 值均略有上升, 至试验第 62 d 分别上升了 2.36%、1.60% 和 1.47%, 但组间差异减小, 表明相应的地下水位深度能够满足芦苇生长的需要, 但随着根系的拓展, 植株受地下水位深度的影响减弱. -60 cm 处理组 F_v/F_m 值稍有上升后迅速下降, 表明 -60 cm 地下水位深度对植株生长造成一定抑制.

PSII 的相对光合电子传递速率 $rETR$ 反映的是实际光强下的表观电子传递效率^[14]. $rETR$ 用于度量光化学反应导致碳固定的电子传递情况, 其值由光强、叶片吸收光系数和有效荧光产量计算得到^[15]. 如图 5 所示, 地下水位深度越低, $rETR$ 值越小. 试验第 6 d -60 cm、-40 cm 和 -20 cm 处理组 $rETR$ 值分别为 0 cm 处理组的 57.33%、76.39% 和 91.71%; 第 30 d 除 -60 cm 处理组 $rETR$ 值有所降低, 其余各组皆上升; 至第 62 d -40 cm 和 -20 cm 处理组 $rETR$ 值分别为 0 cm 处理组的 84.04% 和 96.29%, 组间差异减小.

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, 其值的大小反映的是 PSII 原初电子受体 QA 的氧化还原状态和 PSII 反应中心的开放程度. 其值越大, 说明 PSII 具有越高的电子传递活性^[15-16]. 如图 5 所示, 试验期间, -40 cm、-20 cm 和 0 cm 处理组间 qP 值差异不显著 ($p < 0.05$), -60 cm 处理组 qP 值显著低于其它各处理组 ($p < 0.05$); 随试验时间延长, -60 cm 处理组 qP 值先上升后下降, 表明 -60 cm 地下水位深度对 PSII 的电子传递造成了一定影响, 其它各处理组 qP 值呈上升趋势, 生长初期升幅较大, 生长旺盛期变化不明显.

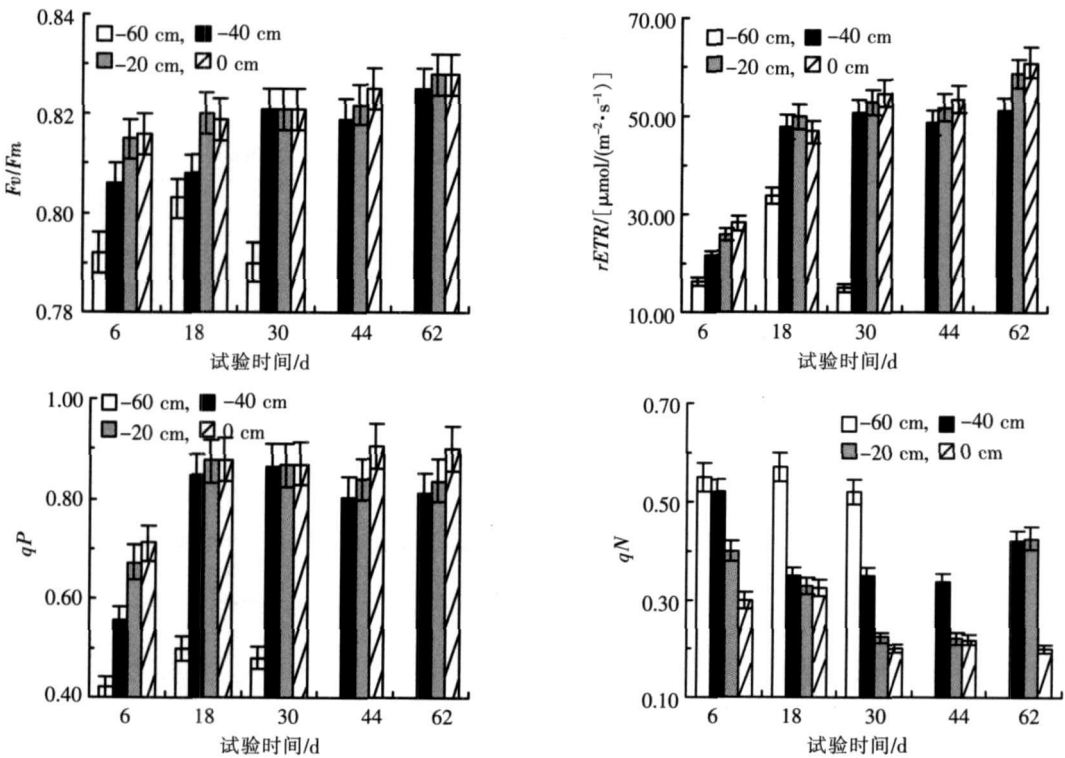


图 5 芦苇荧光参数变化图
Fig.5 Changes of reed's fluorescence parameters

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 PSII 的重要机制^[14]. 由图 5 可知, 地下水位深度越低, qN 值越高, 表明地下水位深度影响了 PSII 对光能的利用, 随地下水位深度降低, 芦苇植株通过增大热耗散以保护其 PSII 免受过剩光能的影响. 随着试验时间的延长, -40 cm、-20 cm 和 0 cm 处理组 qN 值呈下降的趋势, 说明生长初期光能利用效率较低, 生长旺盛期, 植株光能利用率提高; 而 -60 cm 处理组 qN 值稍上升后降低, 持续的低下水位深度使 PSII 遭到了破坏.

3 结论

地下水位深度直接影响芦苇生长, 地下水位深度越低, 植株生长状况越差, 而且还会影响其光合作用过程. 光合色素在光合作用中起着决定性作用, 其中叶绿素含量的高低在很大程度上反映了植物的生长状况和叶片的光合能力^[11], 而叶绿素荧光参数是叶绿素生理活性的重要指标, 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^[17].

对不同地下水位深度条件下芦苇植株生长发育状况研究发现: 随着地下水位深度降低, 植株高度和节间数极显著降低 ($p < 0.01$), 光能捕获效率降低; 试验第 31 d - 60 cm 处理组芦苇植株相继死亡; 第 43 d 该处理组植株全部死亡. 这与芦苇生长所需的水分条件密切相关. 生长初期, 芦苇植株幼苗对水分需求有限, - 60 cm 地下水位深度亦能维持其生长, 进入生长旺盛季节后, 低地下水位深度导致的低土壤水分含量不能满足其生长的需要. 其它各处理组植株高度和节间数随试验时间的延长而增加, 但组间差异减小, 说明随着植株生长, 根系拓展, 地下水位深度对植株形态的影响减弱.

植株生长发育状况的变化是由光合作用等多方面原因引起的. 地下水位深度越低, 叶片叶绿素含量越低, 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; 随试验时间的延长, 各处理组的叶绿素含量逐渐上升后稍有降低, 这与植株叶片叶绿素含量呈现的季节性变化规律相一致.

不同地下水位深度条件下芦苇叶片叶绿素荧光参数研究表明: 随着地下水位深度的降低, 芦苇叶片的 F_v/F_m 值减小, 最大 PSII 的光能转换效率降低; 电子在光合链中的传递速率 \dot{rETR} 值下降, 参与 CO_2 固定的电子减少, 最终光合作用暗反应所需的能量和还原力降低; 吸收的光能用于光化学电子传递的份额 qP 减少, qN 上升, 光能以热的形式耗散掉的份额增多, 光合作用下降. 即地下水位深度愈低, 芦苇生长状况愈差. 随着试验时间的延长, - 60 cm 处理组 F_v/F_m 值、 \dot{rETR} 值、 qP 值和 qN 值稍上升后下降, 持续的低地下水位深度使 PSII 遭到破坏, 植株生长受到抑制; 其它各处理组 F_v/F_m 值、 \dot{rETR} 值和 qP 值升高, qN 值下降, 但组间差异减小, 初步说明, 随着植株生长, 根系拓展, 地下水位深度对植株光响应能力影响减弱.

[参考文献]

- [1] 王海洋, 陈家宽, 周进. 水位梯度对湿地植物生长、繁殖和生物量分配的影响 [J]. 植物生态学报, 1999, 23(3): 269-274
- [2] 刘金祥, 王铭铭. 淹水胁迫对香根草生长及光合生理的影响 [J]. 草业科学, 2005, 122(17): 71-73
- [3] 靖元孝, 程惠青, 彭建宗, 等. 水蓼 (*Cleistocalyx operculatus*) 幼苗对淹水的反应初报 [J]. 生态学报, 2001, 21(5): 810-813
- [4] 崔保山, 赵欣胜, 杨志峰, 等. 黄河三角洲芦苇种群特征对水深环境梯度的响应 [J]. 生态学报, 2006, 26(5): 1533-1541
- [5] 张淑萍, 王仁卿, 张治国, 等. 黄河下游湿地芦苇形态变异研究 [J]. 植物生态学报, 2003, 27(1): 78-85
- [6] 谭学界, 赵欣胜. 水深梯度下湿地植被空间分布与生态适应 [J]. 生态学杂志, 2006, 25(12): 1460-1464
- [7] 何军, 许兴, 李树华, 等. 水分胁迫对牛心朴子叶片光合色素及叶绿素荧光的影响 [J]. 西北植物学报, 2004, 24(9): 1594-1598
- [8] 胡学华, 蒲光兰, 肖千文, 等. 水分胁迫下李树叶叶绿素荧光动力学特性研究 [J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(1): 75-77
- [9] Amon D I. Copper Enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in *Beta vulgaris* [J]. Plant Physiology, 1949, 24(1): 1-15
- [10] 王文林, 王国祥, 李强, 等. 水体浊度对菹草 (*Potamogeton crispus*) 幼苗生长发育的影响 [J]. 生态学报, 2006, 26(11): 3586-3593
- [11] 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 [J]. 湿地科学, 2006, 4(3): 227-232
- [12] 曹昀, 王国祥, 刘玉. 淹水对菖蒲萌发和幼苗生长的影响 [J]. 湖泊科学, 2007, 19(5): 577-584
- [13] 潘瑞炽. 植物生理学 [M]. 5版. 北京: 高等教育出版社, 2004
- [14] 张守仁. 叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论 [J]. 植物学通报, 1999, 16(4): 444-448
- [15] Genty B, Briantais JM, Baker N R. The relationship between the Quantum Yield of Photosynthetic Electron Transport and Quenching of Chlorophyll Fluorescence [J]. Acta Biochim Biophys, 1989, 990: 87-92
- [16] 王可玢, 许春辉, 赵福洪, 等. 水分胁迫对小麦旗叶某些体内叶绿素 a 荧光参数的影响 [J]. 生物物理学报, 1997, 13(2): 273-278
- [17] 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 [J]. 西北植物学报, 2003, 23(12): 2137-2142

[责任编辑: 孙德泉]