

水分胁迫对花叶柳光合荧光参数的影响

王秋姣, 廖飞勇

(中南林业科技大学 风景园林学院, 湖南 长沙 410004)

摘 要:以花叶柳苗木为试材,采用梯度水分胁迫花叶柳的方法,研究不同土壤水分含量对花叶柳光合荧光参数的影响。结果表明:水淹 23 d 后花叶柳生长正常,表现为叶绿素含量增加, F_o 值变化不大, F_v'/F_m' 、ETR、 qP 和光合速率增加, F_v/F_m 变化不大;干旱胁迫和中度干旱胁迫严重抑制植株的生长,表现为叶绿素含量下降, F_o 值上升, F_v'/F_m' 、 F_v/F_m 、ETR、 qP 和光合速率下降。干旱处理 13 d 后植株死亡,中度干旱胁迫处理 20 d 后死亡。

关键词:花叶柳;水分胁迫;光合荧光参数

中图分类号:S 793.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)01-0042-04

花叶柳(*Salix integra* cv. 'Hakuro Nishiki')为杨柳科柳属落叶灌木,是原产于日本的栽培品种。该品种繁殖容易,可采用扦插和压条繁殖^[1];适应性强,根系发达,具有良好的生态效益^[2]。花叶柳观赏效果良好,春季可赏斑白色的嫩叶,冬季可观红色枝条,可植于草坪、林缘、河道等两侧,因此具有较高的园林观赏价值^[3]。目前国内外有关花叶柳的研究很少,只有少量关于花叶柳扦插的试验^[4]。该试验通过研究不同水分胁迫对花叶柳光合荧光参数的影响,以期在花叶柳在园林中的应用和灌溉提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地设在湖南省长沙市中南林业科技大学校园内^[5]。于 2011 年在中南林业科技大学苗圃实验基地进行花叶柳苗木的培育及选育工作,在中南林业科技大学风景园林学院植物实验室内进行水分胁迫处理试验。

1.2 试验材料

选取生长健壮、无病虫害且生长一致的花叶柳苗木作为试材,花叶柳苗木的培育则采用扦插培养的方法。

1.3 试验方法

水分胁迫试验设置 4 个处理组:CK 为对照组,W 为水淹处理(将整个植株浸在水中),D 为干旱处理(从试验开始不再浇水),M 为中度水胁迫处理(从试验开始一直

保持土壤含水量为 20%),3 次重复;生理参数测定时选择叶片为完全成熟的叶片进行测定。光源为人工光源,光照强度为 $500 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,平均气温为 28~35℃ 左右,自然湿度为 50% 左右。

1.4 项目测定

叶绿素含量测定采用分光光度法^[6]。光合参数用 Licor6400 便携式光合仪进行测定,将光强设定为 $800 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,待速率稳定后记录光合数据并进行分析^[7]。荧光参数用 Licor6400 便携式光合仪进行测定,测定的主要参数包括:最小荧光(F_o)、最大荧光(F_m)、可变荧光(F_v)、光化学淬灭系数(qP)、非光化学淬灭系数(qN)、 F_o' 、 F_m' 、 F_v' 和表观光合电子传递速率(ETR)^[8]。

1.5 数据分析

使用 Excel 软件对试验数据进行标准化和归一化初步处理,再利用 SPSS 13.0 进行方差分析和 t 检验。

2 结果与分析

2.1 不同水分胁迫处理对花叶柳叶绿素含量的影响

植物光合作用的能源来自于叶绿素捕获的光能,因此叶绿素含量的高低直接影响植物的光合作用,影响植物的生长。由表 1 可知,处理 4 d 后处理组与对照叶绿素含量差异不显著。9 d 后,干旱和水淹处理植株的叶绿素含量大幅下降,并与对照达差异显著水平,中度干旱胁迫植株叶绿素含量基本保持不变。13 d 后,干旱处理的植株叶片萎蔫,失去了光合功能,水淹植株叶绿素含量增加,中度干旱胁迫植株叶绿素含量下降,但与对照均未达差异显著水平。20 d 后,中度干旱胁迫植株叶片萎蔫,失去了光合功能,水淹植株叶绿素含量基本保持不变,趋于平稳,与对照未达显著差异水平。表 1 的变化说明,20 d 后,水淹植株能够生长正常。

第一作者简介:王秋姣(1986-),女,湖南永洲人,在读硕士,研究方向为园林植物与植物造景。E-mail:786829161@qq.com.

责任作者:廖飞勇(1973-),男,湖南益阳人,博士,硕士生导师,研究方向为园林植物与观赏园艺。E-mail:xylfy@163.com.

基金项目:中南林业科技大学研究生创新基金资助项目(2010sx10);湖南省教育厅青年基金资助项目(10B120)。

收稿日期:2012-09-03

表 1 不同水分胁迫处理对花叶柳
总叶绿素含量的影响

Table 1 The effect of water stress on the content of total chlorophyll of *Salix integra* cv. 'Hakuro Nishiki'

	DT4	DT9	DT13	DT20
对照(CK)	1.477±0.087	1.683±0.05a	1.940±0.35a	1.647±0.18
水淹(W)	1.533±0.46	0.500±0.01b	1.477±0.15a	1.437±0.02
中度干旱(M)	1.123±0.02	1.220±0.02a	0.950±0.43b	—
干旱(D)	1.257±0.60	0.470±0.09b	—	—

注:DT4:处理后 4 d;DT9:处理后 9 d;DT13:处理后 13 d;DT20:处理后 20 d。a, b, c 代表差异的显著性水平, $\alpha=0.05$ 。“—”代表植株死亡。

2.2 不同水分胁迫处理对花叶柳 F_o 的影响

在叶绿素荧光参数中, F_o 为最小荧光, 也称为初始荧光, 反映了光系统II(PSII)反应中心处于完全开放时的荧光产量。一般来说 F_o 越大, 对光能利用能力越低^[9]。由表 2 可知, 处理前, 各植株的 F_o 值基本一致。处理 6 d

表 2 不同水分胁迫处理对花叶柳 F_o 的影响

Table 2 The effect of water stress on the F_o of *Salix integra* cv. 'Hakuro Nishiki'

	BT	DT6	DT9	DT15	DT23
对照(CK)	133.7±0.46	126.3±1.87ab	136.4±2.51a	141.8±1.06c	137.2±1.54
水淹(W)	133.6±1.23	123.0±4.74a	130.2±1.45a	133.8±0.62a	143.9±2.03
中度干旱(M)	135.6±2.31	128.7±1.97ab	164.2±0.37c	164.5±1.10b	—
干旱(D)	133.9±0.87	136.6±2.92b	152.6±2.51b	—	—

注:BT:处理前;DT6:处理后 6 d;DT9:处理后 9 d;DT15:处理后 15 d;DT23:处理后 23 d。a, b, c 代表差异的显著性水平, $\alpha=0.05$ 。“—”代表植株死亡。下同。

2.3 不同水分胁迫处理对花叶柳 F_v/F_m 的影响

F_v/F_m 是 PSII 最大光化学量子量, 反映了 PSII 反应中心内部光能转换效率。该参数非常稳定, 不受物种和生长条件的影响; 但是在胁迫条件下该参数明显下降^[9]。由表 3 可知, 处理前各植株 F_v/F_m 保持在 0.810 左右的正常范围。处理 6 d 后 F_v/F_m 变化不大, 在 0.810 左右, 说明植物没有受到胁迫。处理 9 d 后, 干旱

表 3 不同水分胁迫处理对花叶柳 F_v/F_m 的影响

Table 3 The effect of water stress on the F_v/F_m of *Salix integra* cv. 'Hakuro Nishiki'

	BT	DT6	DT9	DT15	DT23
对照(CK)	0.814±0.001	0.810±0.003ab	0.792±0.004a	0.797±0.001a	0.803±0.003
水淹(W)	0.814±0.003	0.821±0.007a	0.800±0.003a	0.770±0.002a	0.800±0.001
中度干旱(M)	0.811±0.005	0.811±0.003ab	0.673±0.001b	0.276±0.013b	—
干旱(D)	0.813±0.002	0.800±0.005b	0.680±0.006b	—	—

2.4 不同水分胁迫处理对花叶柳 qP 的影响

qP 为光化学淬灭参数, 代表了光合能量用于暗反应固定能量的部分, 其值越高表示光能中转变为活泼化学能的能量越多, 植物对光能的利用效率也越高^[10]。由表 4 可知, 处理前各植株的 qP 值都在 0.44 左右。处理 6 d 后, 各处理组 qP 值明显上升, 且水淹和干旱植株的 qP 值与对照达差异显著水平, 这表明各处理组植株对光能的利用效率在提高, 将更多的光能转变为活泼化学能。处理 9 d 后, qP 发生明显的变化, 干旱胁迫植株与中度干旱胁迫植株的 qP 值下降明显, 且与对照差异达显著水平, 这说明干旱和中度干旱植株已经受到水分胁迫

后, 对照、水淹、中度干旱胁迫植株的 F_o 值下降, 而干旱植株的 F_o 值上升, 说明干旱对植株光能的利用能力在降低, 干旱植株已经受到水分胁迫影响。处理 9 d 后, 干旱植株和中度干旱胁迫植株 F_o 值有明显上升, 且与对照和水淹植株达差异显著水平, 这表明干旱和中度干旱胁迫植株受到了水分胁迫的影响, 植株对光能的利用能力已经有明显下降。处理 15 d 后, 干旱植株死亡, 中度干旱胁迫植株 F_o 值与对照达差异显著水平; 水淹植株与对照比有所下降, 且达差异显著水平, 这说明水淹植株在水胁迫 15 d 后反而生长的更好, 对光能的利用能力更强。处理 23 d 后, 中度干旱胁迫植株已死亡; 水淹植株 F_o 值略有上升, 但与对照差异不显著。 F_o 值的变化说明水胁迫处理 23 d 后, 水淹植株能够正常生长, 植株持续干旱最多存活至 15 d, 中度干旱最多存活 23 d。

植株 F_v/F_m 为 0.680, 中度干旱胁迫植株 F_v/F_m 为 0.673, 低于正常范围(0.800~0.830), 说明这 2 个处理组受到了水分胁迫。处理 15 d 后, 干旱植株死亡, 中度干旱胁迫植株 F_v/F_m 只有 0.276, 说明其受水分胁迫非常严重。处理 23 d 后, 中度干旱胁迫植株已死亡, 水淹植株 F_v/F_m 值为 0.800, 说明并没有受到胁迫, 生长正常, 这与不同水分胁迫对 F_o 的变化相一致。

2.5 不同水分胁迫处理对花叶柳 ETR 的影响

ETR 为光合电子传递速率, 其值的高低可以反映光合能量的传递速率^[11]。由表 5 可知, 与处理 6 d 后, 各处理组的 ETR 值有明显上升, 且与对照达差异显著水平, 这说明处理组在 6 d 后光合能量的传递速率在增加。

处理 9 d 后,干旱和中度干旱胁迫植株的 ETR 值明显下降,与对照达差异显著水平,水淹植株 ETR 值有下降,但高于试验前;处理 15 d 后,干旱胁迫的植株已死亡;中度干旱胁迫植株的 ETR 值只有 5.6,与对照差异非常显著,水淹植株的 ETR 变化不大,但与对照的达差异显著

表 4 不同水分胁迫处理对花叶柳 qP 的影响

Table 4 The effect of water stress on the qP of *Salin integra* cv. 'Hakuro Nishiki'

	BT	DT6	DT9	DT15	DT23
对照(CK)	0.43±0.002	0.71±0.003c	0.68±0.007c	0.54±0.015c	0.60±0.002
水淹(W)	0.44±0.002	0.61±0.006a	0.48±0.017a	0.38±0.010a	0.57±0.021
中度干旱(M)	0.45±0.011	0.66±0.014bc	0.40±0.007b	0.13±0.005b	—
干旱(D)	0.45±0.001	0.61±0.018ab	0.36±0.005b	—	—

表 5 不同水分胁迫处理对花叶柳 ETR 的影响

Table 5 The effect of water stress on the ETR of *Salin integra* cv. 'Hakuro Nishiki'

	BT	DT6	DT9	DT15	DT23
对照(CK)	37.3±0.103	85.3±0.728b	76.1±1.547c	54.4±2.944c	64.8±1.372
水淹(W)	38.3±0.005	58.7±1.917a	44.6±1.800a	30.1±0.974a	52.5±1.452
中度干旱(M)	39.2±0.278	69.4±3.984a	25.4±0.176b	5.6±0.241b	—
干旱(D)	38.6±0.306	57.9±3.800a	24.1±0.635b	—	—

2.6 不同水分胁迫处理对花叶柳 Fv'/Fm' 的影响

Fv'/Fm' 的为光下光系统 II 的实际光能转换效率^[12],它不受 F_o 的影响。由表 6 可知,处理前,各植株的 Fv'/Fm' 值非常稳定,保持在 0.407 左右。处理 6 d 后,各处理组的 Fv'/Fm' 有上升,且与对照的达差异显著水平,说明处理后的植株都受到了水分胁迫的影响。处理 9 d 后,水淹植株的 Fv'/Fm' 变化较小,干旱胁迫处理植株和中度干旱胁迫植株的 Fv'/Fm' 明显下降,且都与

表 6 不同水分胁迫处理对花叶柳 Fv'/Fm' 的影响

Table 6 The effect of water stress on the Fv'/Fm' of *Salin integra* cv. 'Hakuro Nishiki'

	BT	DT6	DT9	DT15	DT23
对照(CK)	0.407±0.001	0.565±0.003d	0.529±0.005c	0.473±0.013c	0.505±0.015a
水淹(W)	0.406±0.010	0.454±0.011a	0.439±0.002a	0.375±0.002a	0.437±0.004b
中度干旱(M)	0.408±0.005	0.493±0.018ac	0.302±0.004b	0.201±0.015b	—
干旱(D)	0.407±0.003	0.431±0.016ab	0.295±0.004b	—	—

2.7 不同水分胁迫处理对花叶柳光合速率的影响

净光合速率是影响植物生长的直接体现,高的净光合速率往往体现高的生长速率。由表 7 可知,处理 5 d 后,水淹植株的净光合速率与中度干旱胁迫植株的净光合速率明显增高,干旱胁迫处理净光合速率明显下降,且都与对照的达差异显著水平,说明 5 d 后水淹和中度干旱植株能够快速生长,干旱植株则生长速率较低。处理 9 d 后,干旱植株净光合速率为 1.00,低于正常范围,水淹植株的净光合速率明显下降,而中度干旱植株则与对照差异不显著,说明水淹和干旱植株 9 d 后生长速率变慢,且干旱植株的生长已经受到严重影响。处理 16 d 后,干旱植株停止生长,水淹植株和中度干旱胁迫植株的净光合速率下降,都与对照处理差异达显著水平。处理 24 d 后,中度干旱胁迫植株死亡,水淹植株的净光合速率明显上升,且与对照的差异未达显著水平,

水平。处理 23 d 后,中度干旱胁迫植株已死亡,水淹植株的 ETR 明显高于试验前,且与对照的未达差异显著水平,保持良好的生长状态。ETR 值变化的结果与 qP 的变化相一致。

对照的达差异显著水平,这表明干旱和中度干旱植株受水胁迫影响已非常严重。处理 15 d 后,干旱胁迫植株死亡,水淹植株的 Fv'/Fm' 略有下降,中度干旱胁迫植株的 Fv'/Fm' 值下降显著,只有 0.201,说明干旱植株生长已受到严重影响。处理 23 d 后,中度干旱胁迫植株已死亡,水淹植株的 Fv'/Fm' 值上升,且高于试验前,这表明水淹植株在 23 d 后生长恢复正常,保持正常生长状态。

表明 24 d 后水淹处理植株的生长已经恢复正常,未受水分胁迫的影响。

表 7 不同水分胁迫处理对花叶柳光合速率的影响

Table 7 The effect of water stress on the photosynthetic rate of

Salin integra cv. 'Hakuro Nishiki'

	DT5	DT9	DT16	DT24
对照(CK)	7.90±0.97a	8.76±1.37a	10.00±0.06a	12.75±0.38
水淹(W)	11.20±1.04b	4.87±0.54b	3.56±1.60b	8.21±1.29
中度干旱(M)	11.80±0.86b	8.95±0.97a	6.10±0.85c	—
干旱(D)	6.47±1.25c	1.00±0.04c	—	—

3 结论与讨论

3.1 不同水分胁迫处理对植物光能捕获的影响

植物光能的捕获和转换是通过叶绿素来进行的,叶绿素含量的变化表明,水淹植株在处理 9 d 后叶绿素捕

获的光能最低,20 d 后趋于正常。随着处理时间的延长,中度干旱和干旱植株叶绿素对光能的捕获能力逐渐降低,干旱植株 13 d 后叶绿素失去捕获光能的能力,中度干旱植株 20 d 后失去捕获光能的能力。

3.2 不同水分胁迫处理对光能转换和传递的影响

叶绿素分子捕获光能最后要通过光系统对光能进行转换,其效率的高低体现在 Fv/Fm 和 Fv'/Fm' 的变化上。其变化表明,处理后水淹植株对光能的转换效率变化不显著,与对照的差异幅度不大。中度干旱和干旱植株处理后对光能的转换效率在降低,且处理 9 d 后,这种转换效率就受到明显的抑制。干旱植株在处理 15 d 后已停止对光能的转换,中度干旱植株在处理 23 d 后停止转换光能。

3.3 不同水分胁迫处理对能量积累的影响

光合能量的初步固定为活泼化学能体现为净光合速率的变化,光合速率越高,说明其净能量积累较多,被固定的能量也就越多。其变化表明,水淹植株在处理 5 d 后所固定的净能量最多,之后有所降低,24 d 后再升高。中度干旱和干旱植株处理后积累的净能量在逐渐降低,干旱植株处理 16 d 后已停止能量的积累,中度干旱植株处理 24 d 后已停止固定为活泼化学能。

综上所述,花叶柳对水淹的适应性较强,这与花叶柳喜水湿的生态习性相一致,但其在长沙地区的抗旱性不强^[3]。干旱植株和中度水分胁迫植株的 Fv/Fm 、 ETR 、 Fv'/Fm' 、 qP 和光合速率均下降,反映出植株受到了光抑制,而 Fo 的升高则表明 PSII 系统遭受到了可逆或不可逆的破坏^[13],这也进一步表明低水分会遏制并影响花叶柳的正常生长。

根据试验结果,花叶柳在园林植物造景时宜配置在水畔、池边等土壤湿润的环境当中。为节约园林灌溉用水,并保证花叶柳的正常生长,一般干旱环境中生长的花叶柳需要每隔 10 d 左右对其进行浇水灌溉,干燥高温的夏季可以将浇水的时间缩短。

参考文献

- [1] 徐华金,张志毅,王莹. 花叶柳嫩枝扦插繁殖实验[J]. 林业科技开发, 2007,21(1):66-68.
- [2] 刘延江,李作文. 园林树木图鉴[M]. 沈阳:辽宁科技出版社,2005.
- [3] 方红,沈守云. 花叶柳的生理习性及其在园林中的应用[J]. 黑龙江农业科学,2009(6):96-97.
- [4] 梁彬,孙晶. 花叶柳扦插繁殖技术[J]. 林业实用技术,2004(12):21.
- [5] 杨柳青,廖飞勇,赵坤,等. 不同除草剂对加拿大一枝黄花生长的影响[J]. 中南林业科技大学学报,2011,31(4):109-113.
- [6] 苏冬梅,廖飞勇. SO_2 对菊花光合色素含量和叶绿素荧光特性的影响[J]. 中南林学院学报,2005,25(6):70-74.
- [7] 马丽云,杨红江,杜晓君,等. 不同药剂防除加拿大一枝黄花试验总结[J]. 杂草科学,2007(2):56-57.
- [8] 廖飞勇,何平. SO_2 处理对洞桐叶片光合能量传递效率的影响[J]. 广西植物,2004,24(1):86-90.
- [9] 廖飞勇. 含氧 2% 空气短时抑制光呼吸对榉树光系统性状的影响[J]. 西南林学院学报,2007,27(4):1-3.
- [10] 王菊凤,李鸽鸣,廖飞勇,等. 光照对盾叶薯蓣荧光光谱和叶绿体结构的影响[J]. 吉首大学学报(自然科学版),2006,27(1):80-85.
- [11] 王菊凤,李鸽鸣,廖飞勇,等. 弱光生态型盾叶薯蓣对不同光照的长期适应——光合速率、光呼吸和电子传递速率的变化[J]. 中南林学院学报,2006,26(2):27-33.
- [12] Oxborough K. Imaging of chlorophyll a fluorescence: theoretical and practical aspects of an emerging technique for the monitoring of photosynthetic performance[J]. Journal of Experimental Botany,2004,55(400):1195-1205.
- [13] 慧红霞,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.

Effect of Water Stress on the Photosynthesis Fluorescence Parameters of *Salix integra* cv. 'Hakuro Nishiki'

WANG Qiu-jiao, LIAO Fei-yong

(College of Landscape Architecture, Central South University of Forestry and Technology, Changsha, Hunan 410004)

Abstract: Taking the seedlings of *Salix integra* cv. 'Hakuro Nishiki' as test material, using the gradient of water stress method, the effect of the different soil water contents on the photosynthesis fluorescent parameters of *Salix integra* cv. 'Hakuro Nishiki' were studied. The results showed that flooding accelerated the growth of plants after treated for 23 days, which was embodied in the increasing of chlorophyll content, Fv'/Fm' , ETR , qP and net photosynthetic rate, while the change of Fv/Fm and Fo was not obvious. The drought stress and the moderate stress suppressed the growth of plants, which were embodied in the increasing of Fo , the decreasing of chlorophyll content, Fv/Fm , Fv'/Fm' , ETR , qP , photosynthetic rate, and the plants of the drought stress were dead after treated for 13 days, but the plants of the moderate stress were dead after treated for 20 days.

Key words: *Salix integra* cv. 'Hakuro Nishiki'; water stress; photosynthesis fluorescence parameters