

# 水分胁迫对加拿大一枝黄花光合和荧光参数的影响

杨柳青<sup>1</sup>, 廖飞勇<sup>1</sup>, 赵坤<sup>1</sup>, 许潜<sup>2</sup>, 冯加生<sup>3</sup>, 吴红强<sup>3</sup>

(1. 中南林业科技大学, 湖南长沙 410004; 2. 湘潭市林业局, 湖南湘潭 411100; 3. 湘潭市林业科学研究所, 湖南湘潭 411206)

**摘要:**在水淹和干旱条件下对加拿大一枝黄花的光合和荧光参数的影响进行了研究。结果表明:一定时间内,水淹促进了加拿大一枝黄花生长,而干旱胁迫可严重抑制植株的生长,表现为 15 d 的水分胁迫试验中,水淹植物的叶绿素含量、光下可变荧光与光下最大荧光的比值  $F_v'/F_m'$ 、表观光合电子传递速率 ETR、光化学淬灭系数  $q_P$  和净光合速率 NPR 增加,最小荧光值  $F_o$  下降,可变荧光与最大荧光之比值  $F_v/F_m$  变化不大;而干旱胁迫植物的叶绿素含量、 $F_v'/F_m'$ 、 $F_v/F_m$ 、ETR、 $q_P$  和 NPR 下降, $F_o$  值上升,处理 15 d 后植株死亡。

**关键词:**加拿大一枝黄花;水分胁迫;光合;荧光

中图分类号:Q 945.17 文献标识码:A 文章编号:1001-0009(2011)23-0012-03

水分胁迫是限制植物光合作用和生长发育的最重要因素<sup>[1-2]</sup>。植物在经受水分胁迫时,由于土壤水分不足或外液的渗透压高,植物可利用水分缺乏。而在水淹条件下,有氧呼吸受抑制,影响水分吸收,也会导致细胞缺水失去膨压。植物受到水分胁迫后会出现光合作用的下降现象<sup>[3-4]</sup>。

加拿大一枝黄花(*Solidago canadensis*)为菊科一枝黄花属的多年生草本植物,原产于北美,现成为世界范围内的一种入侵性外来植物<sup>[5]</sup>。适应性和繁殖性强,可通过根茎无性繁殖,也可通过风力和鸟类进行远距离种子传播<sup>[6]</sup>。加拿大一枝黄花喜欢生长在路边、近水边的荒地。近年来,有关加拿大一枝黄花生理方面的研究不少<sup>[5,7-8]</sup>,但是水分胁迫对其影响却未见报道。现从水分胁迫方面进行研究,以期在利用和防治加拿大一枝黄花方面提供理论指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验地设在湖南省长沙市中南林业科技大学校园内。2010 年加拿大一枝黄花用盆栽植后,秋天剪去地上部分,第 2 年萌发后每盆保留 1 株。植株放置于露天环境中,视情况进行人工浇水。2011 年 5 月 7 日选择生长基本一致的植株搬进实验室进行试验。

### 1.2 试验方法

分别用 3 种方法进行处理:CK 为对照组,保持土壤基本湿润;W 为水淹处理,将整个植株根部浸泡在水中;D 为干旱处理,从试验开始不再浇水。每

组 6 次重复。每天 6:00~18:00 在实验室用光照强度为  $400 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  的人工光源进行光照补充。

### 1.3 项目测定

选择完全成熟的叶片进行生理参数的测定。叶绿素含量用日本美能达公司生产的叶绿素测定仪 SPAD 502 进行测定。光合速率用 Licor6400 便携式光合仪进行测定,设定测定光强为  $800 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,自动记录数据并进行分析。荧光参数测定的为自然的温度和湿度,测定的主要荧光参数为:暗适应 20 min 以后最小荧光( $F_o$ )、最大荧光( $F_m$ )、可变荧光( $F_v$ );在  $800 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  光强下进行光适应,待  $F_v/F_t$  ( $F_t$  为瞬时荧光)在  $\pm 5$  以内时测定光下的  $F_o'$ 、 $F_m'$ 、 $F_v'$ 、表观光合电子传递速率 ETR 和作用光存在时 PSII 实际的光化学量子效率  $\Phi_{\text{PSII}}$  (光化光的光强为  $800 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 水分胁迫对植物叶绿素含量的影响

植物叶片中叶绿素含量的高低直接影响植物的生长,因为叶绿素捕获的光能是植物光合作用能量的来源。由表 1 可知,处理 6 d 后,处理组与对照叶绿素含量差异不显著。处理 10 d 后,干旱处理植株的叶绿素含量下降,与对照和水淹植株的差异达显著水平;水淹处理植株的叶片叶绿素含量不仅没有减少,反而增加,但是与对照的差异未达显著水平。处理 15 d 后,干旱处理的植株叶片萎蔫,失去了光合功能,植株死亡;水淹植株叶绿素含量比对照要高,但差异未达显著水平,说明水淹 15 d 不仅没有抑制植株的生长,反而在一定程度上促进其生长,这与观察到植株叶片浓绿相一致。

### 2.2 对最小荧光 $F_o$ 的影响

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 PSII 反应中心处于完全开放时的荧光产量<sup>[9]</sup>。一般来说  $F_o$  越大,对光能利用能力越低。由表

第一作者简介:杨柳青(1965-),男,湖南湘潭人,博士,教授,研究方向为园林植物与观赏园艺。E-mail: liuqingyang1208@yahoo.com.cn。

基金项目:国家林业局“948”资助项目(2008-4-46)。

收稿日期:2011-09-22

表 1 水分胁迫对加拿大一枝黄花叶绿素含量的影响

Table 1 The effect of water stress on the content of pigment of *Solidago canadensis*

	BT(Before treating)	AT6(After treating 6 days)	AT10(After treating 10 days)	AT15(After treating 15 days)
CK(Control)	33.7±4.3	32.9±2.8	34.7±3.2 a	32.1±2.4
W(Water stress)	34.2±3.6	33.2±3.2	35.0±2.9 a	35.5±2.7
D(Drought stress)	34.3±2.9	32.1±3.4	21.2±1.8 b	—

注:BT:处理前;AT6:处理后 6 d;AT10:处理后 10 d;AT15:处理后 15 d。a、b 代表差异的显著性水平,α=0.05。“—”代表植株已死亡。

Note:BT:Before treating;AT6:After treating 6 days;AT10:After treating 10 days;AT15:After treating 15 days. a, b are significant difference level at α=0.05. “—” is plants had died already.

2 可知,处理 4 d 后, Fo 值变化不大, 各组间差异不显著。处理 10 d 后, 干旱胁迫植株的 Fo 明显上升, 其与对照和水淹植株的差异达显著水平; 水淹植物与对照的 Fo 值基本接近, 没有明显差异。处理 15 d 后, 干旱植株死亡, 而水淹植株的 Fo 值下降, 但与对照组没有显著性差异。Fo 的变化表明, 干旱胁迫条件下, 植株对光能的利用能力越来越低, 最后死亡; 而水淹的植株对光能的利用率变化不大, 说明植株生长正常, 并没有受到严重的胁迫。

表 2 水分胁迫对加拿大一枝黄花 Fo 影响

Table 2 The effect of water stress on the Fo of *Solidago canadensis*

	BT(Before treating)	AT4(After treating 4 days)	AT10(After treating 10 days)	AT15(After treating 15 days)
CK(Control)	106.3±9.8	105.2±10.2	105.8±8.7 a	107.3±10.1
W(Water stress)	106.1±10.2	105.8±6.9	105.9±5.6 a	105.8±8.7
D(Drought stress)	105.9±8.7	105.5±7.3	128.1±9.9 b	—

注:BT:处理前;AT4:处理后 4 d;AT10:处理后 10 d;AT15:处理后 15 d。a、b 代表差异的显著性水平,α=0.05。“—”代表植株已死亡。下同。

Note:BT:Before treating;AT4:After treating 4 Days;AT10:After treating 10 Days;AT15:After treating 15 Days. a, b are significant difference level at α=0.05. “—” is plants had died already. The same below.

### 2.3 对可变荧光与最大荧光比值 Fv/Fm 的影响

Fv/Fm 是 PSII 最大光化学量子量, 反映了 PSII 反应中心内禀光能转换效率。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。由表 3 可知, 处理 4 d 后 Fv/Fm 变化很小, 其值在 0.830 左右, 说明并没有受到胁迫。处理 10 d 后, 水淹植株其值为 0.836, 属于正常范围; 干旱胁迫植株的值则明显下降, 只有 0.765, 与对照和水淹植物达到显著性差异水平, 说明其受水分胁迫比较严重。

表 3 水分胁迫对加拿大一枝黄花 Fv/Fm 影响

Table 3 The effect of water stress on the Fv/Fm of *Solidago canadensis*

	BT(Before treating)	AT4(After treating 4 days)	AT10(After treating 10 days)	AT15(After treating 15 days)
CK(Control)	0.834±0.076	0.829±0.061	0.832±0.061 a	0.831±0.054
W(Water stress)	0.831±0.067	0.840±0.056	0.836±0.066 a	0.837±0.043
D(Drought stress)	0.833±0.055	0.834±0.058	0.765±0.073 b	—

### 2.4 对光化学淬灭参数 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。由表 4 可知, 处理 4 d 后, 处理组与对照的 qP 值差异

不明显, 未达显著水平。处理 10 d 后, qP 发生明显的变化, 干旱胁迫植株的 qP 值明显下降, 与对照和水淹植物的差异达显著水平; 而水淹处理植株的 qP 明显上升, 与对照和干旱胁迫的差异达显著水平。处理 15 d 后, 干旱胁迫的植株已死亡, 水淹植株的 qP 值仍然明显上升, 且与对照的差异仍达显著水平。这说明在水淹处理下, 植株对于光能的利用效率逐渐在提高, 而在干旱胁迫的条件下, 其 qP 逐渐下降, 说明其光能的利用效率逐渐下降, 最后死亡。

表 4 水分胁迫对加拿大一枝黄花 qP 的影响

Table 4 The effect of water stress on the qP of *Solidago canadensis*

	BT(Before treating)	AT4(After treating 4 days)	AT10(After treating 10 days)	AT15(After treating 15 days)
CK(Control)	0.332±0.017	0.316±0.026	0.323±0.018 a	0.334±0.031 a
W(Water stress)	0.328±0.015	0.331±0.033	0.412±0.032 b	0.409±0.023 b
D(Drought stress)	0.327±0.022	0.325±0.028	0.187±0.009 c	—

### 2.5 对表观光合电子传递速率 ETR 的影响

ETR 为表观光合电子传递速率, 其值的高低可以反映光合能量的传递速率。由表 5 可知, 处理 4 d 后, 处理组的 ETR 值略有上升, 但是差异未达显著水平。处理 10 d 后, 干旱胁迫植株的 ETR 值则明显下降, 与对照和水淹植株的值差异达显著水平, 而水淹植株的 ETR 值明显上升, 与对照差异达显著水平。处理 15 d 后, 干旱胁迫的植株已死亡; 水淹植株的 ETR 上升, 但与对照的差异未达显著水平。

表 5 水分胁迫对加拿大一枝黄花 ETR 的影响

Table 5 The effect of water stress on the ETR of *Solidago canadensis*

	BT(Before treating)	AT4(After treating 4 days)	AT10(After treating 10 days)	AT15(After treating 15 days)
CK(Control)	50.12±4.3	49.37±3.7	49.87±3.9 a	51.35±4.7
W(Water stress)	50.22±4.1	53.54±4.9	54.45±3.8 b	54.76±4.9
D(Drought stress)	50.16±3.8	51.38±4.0	11.34±2.9 c	—

### 2.6 对植物光下光系统 II 的实际光能转换效率 Fv'/Fm' 的影响

Fv'/Fm' 为光下光系统 II 的实际光能转换效率, 它不受 Fo 的影响<sup>[10]</sup>。由表 6 可知, 处理 4 d 后水淹和干旱处理植株的 Fv'/Fm' 略有上升, 但与对照的差异未达显著水平。处理 10 d 后, 干旱胁迫处理植株的 Fv'/Fm' 明显下降, 与对照的差异也达显著水平; 而水淹植株的 Fv'/Fm' 上升, 与对照的差异也达显著水平。处理 15 d 后, 干旱胁迫植株死亡; 水淹植株的 Fv'/Fm' 上升, 与对照的差异仍达显著水平。说明干旱胁迫使得 PSII 光下的光能转换效率下降, 最后死亡。相反, 水淹使其 PSII 光下的光能转换效率逐渐增强。

表 6 水分胁迫对加拿大一枝黄花 Fv'/Fm' 的影响

Table 6 The effect of water stress on the Fv'/Fm' of *Solidago canadensis*

	BT(Before treating)	AT4(After treating 4 days)	AT10(After treating 10 days)	AT15(After treating 15 days)
CK(Control)	0.371±0.021	0.365±0.019	0.372±0.031 a	0.365±0.041 a
W(Water stress)	0.370±0.018	0.391±0.032	0.412±0.029 b	0.432±0.027 b
D(Drought stress)	0.368±0.016	0.382±0.028	0.112±0.009 c	—

### 2.7 对净光合速率的影响

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表现为高的生长速率。由表 7 可知,处理 4 d 后,水淹植株的净光合速率明显增高,且与对照的差异达显著水平;干旱胁迫处理的净光合速率明显下降,只有对照的 57%,且差异达显著水平。处理 10 d 后,这种变化趋势更加明显。处理 15 d 后,干旱胁迫的植株死亡;水淹植株仍然维持较高的净光合速率,且与对照的差异达显著水平。

表 7 水分胁迫对加拿大一枝黄花净光合速率的影响

Table 7 The effect of water stress on the growth of *Solidago canadensis*

	BT(Before treating)	AT4(After treating 4 days)	AT10(After treating 10 days)	AT15(After treating 15 days)
CK(Control)	11.21±0.89	10.32±0.97 a	10.9±0.76 a	10.6±1.01 a
W(Water stress)	10.90±0.91	13.31±1.02 b	14.5±0.95 b	14.5±1.03 b
D(Drought stress)	10.81±0.78	5.90±0.34 c	1.23±0.09 c	—

## 3 结论与讨论

### 3.1 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,水淹使得植株叶绿素含量增加,叶绿素含量的增加使得植株能捕获的光能增加,捕获能量的增加使得植株后续的一系列生理反应发生变化,如光合电子传递、光合速率等。干旱胁迫使得叶片叶绿素含量下降,捕获的光能减少,使后续可用于传递和固定的能量减少。

### 3.2 对光能转换和传递的影响

叶绿素分子捕获光能后要通过光系统对光能进行转换,其效率的高低体现在  $F_v/F_m$  和  $F_v'/F_m'$  的变化。它们的变化表明,干旱胁迫使光系统的光能转换效率下降,水淹使光系统光能转换效率增加。光合电子传递效率的高低通过 ETR 表现出来。它的变化表明,干旱胁迫使光合电子传递速率下降;水淹使光合电

子传递速率增加。

### 3.3 对能量积累的影响

光能能量转换为活泼化学能体现为净光合速率值的大小,光合速率越高,可被固定的能量也就越多。研究表明,干旱胁迫使净光合速率下降;水淹使光合速率上升。通过对能量代谢的分析表明,在水淹 15 d 的试验中,植物的叶绿素含量增加,光能转换效率、电子传递速率和光化学淬灭系统数升高,净光合速率增加,促进了植物生长。干旱胁迫 15 d 内,植物的叶绿素含量下降,降低了光能转换效率、电子传递速率和光化学淬灭系统数,净光合速率下降甚至停止,最终导致死亡。

## 参考文献

- [1] Boyer J S. Plant productivity and environment [J]. Science, 1982, 218:443-448.
- [2] Tezara W, Mitchel V J, Driscoll S D, et al. Water stress inhibits plant photosynthesis by decreasing coupling factor and ATP [J]. Nature, 1999, 401:914-917.
- [3] 魏爱丽,王志敏,翟志席,等. 土壤干旱对小麦旗叶和穗器官 C4 光合酶活性的影响[J]. 中国农业科学, 2003, 36(5):508-512.
- [4] Jeyaramraja P R, Meenakshi S N, Joshi S D, et al. Water deficit induced oxidative damage in tea (*Camellia sinensis*) plants [J]. J Plant Physiol, 2005, 162:413-419.
- [5] 孙晓方,何家庆,黄训端,等. 不同光强对加拿大一枝黄花生长和叶绿素荧光的影响[J]. 西北植物学报, 2008, 28(4):752-758.
- [6] 姚坚,费子宝,杨晓琴,等. 湖州市加拿大一枝黄花生物学特性与防控对策初探[J]. 浙江农业科学, 2007(1):89-90.
- [7] 黄华,郭水良. 外来植物加拿大一枝黄花生理指标的季节动态及其适应意义[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版), 2005, 28(2):201-205.
- [8] 郭水良,方芳. 入侵植物加拿大一枝黄花对环境的生理适应性研究[J]. 植物生态学报, 2003, 27(1):47-52.
- [9] 廖飞勇,何平. SO<sub>2</sub> 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.
- [10] 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.

## Effect of Water Stress on the Photosynthesis and Fluorescence of *Solidago canadensis*

YANG Liu-qing<sup>1</sup>, LIAO Fei-yong<sup>1</sup>, ZHAO Kun<sup>1</sup>, XU Qian<sup>2</sup>, FENG Jia-sheng<sup>3</sup>, WU Hong-qiang<sup>3</sup>

(1. Central South University of Forestry and Technology, Changsha, Hunan 410004; 2. Forestry Bureau of Xiangtan City, Xiangtan, Hunan 411100; 3. Forestry Science and Technology Institute in Xiangtan, Xiangtan, Hunan 411206)

**Abstract:** The effect of flooding stress and drought stress on the photosynthesis and fluorescence of *Solidago canadensis* was studied. The results showed that during a certain period of time, flooding stress accelerated the growth of plants, however, drought stress greatly suppress the growth of plants. During the 15 days' experiment, for flooding stress plants, the trends were embodied in the increasing value of chlorophyll, the ratio of lighting variable fluorescence to lighting maximum fluorescence ( $F_v'/F_m'$ ), photosynthetic electron transport rate (ETR), photochemical quenching (qP) and net photosynthetic rate (NPR), the decreasing value of the minimum fluorescence ( $F_o$ ), while the change of the ratio of variable fluorescence to maximum fluorescence ( $F_v/F_m$ ) was not obvious; for drought stress plants, the trends embodied in the decreasing value of Chlorophyll,  $F_v/F_m$ ,  $F_v'/F_m'$ , ETR, qP and NPR, the increasing value of  $F_o$ , the plants were dead after treating 15 days.

**Key words:** *Solidago canadensis*; water stress; photosynthesis; fluorescence