

# 践踏胁迫对4种园林地被植物叶绿素荧光特性的影响

常 乐<sup>1</sup>, 夏宜平<sup>1,\*</sup>, 楼建华<sup>2</sup>, 陈菁珏<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>浙江大学农业与生物技术学院园艺系, 杭州 310029; <sup>2</sup>杭州植物园, 杭州 310013)

**摘 要:** 以佛甲草 (*Sedum lineare*)、矮麦冬 (*Ophiopogon japonicus* var. *nana*)、络石 (*Trachelospermum jasminoides*)、小叶扶芳藤 (*Euonymus fortunei* var. *radicans*) 等4种园林地被植物进行践踏试验, 比较分析其植株生长与叶绿素荧光特性。结果显示: 除佛甲草外, 几种地被植物践踏后的生长势与翌年恢复性均良好; 践踏胁迫后4种地被植物的固定荧光 ( $F_0$ ) 图像颜色变深, 叶绿素含量有所降低, 其中尤以佛甲草最为明显; 践踏后6周的PSII原初光能转换效率 ( $F_v/F_m$ ) 均明显降低。两种藤本地被植物络石和小叶扶芳藤在践踏胁迫后的光化学猝灭系数 ( $q_p$ ) 和表观光合电子传递速率 ( $ETR$ ) 均高于对照, 非光化学猝灭系数 ( $NPQ$ ) 低于对照; 两种草本地被植物矮麦冬和佛甲草与之相反。综合各项指标来看, 藤本地被植物的耐践踏性强于草本地被。叶绿素荧光特性可用于评定地被植物的耐践踏性。

**关键词:** 佛甲草; 矮麦冬; 络石; 小叶扶芳藤; 践踏胁迫; 叶绿素荧光

**中图分类号:** S 688.4

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0513-353X (2010) 10-1673-06

## Influence of Trampling Stress on Chlorophyll Fluorescence Characteristics in Four Species of Landscape Ground Covers

CHANG Le<sup>1</sup>, XIA Yi-ping<sup>1,\*</sup>, LOU Jian-hua<sup>2</sup>, and CHEN Jing-jue<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Department of Horticulture, College of Agriculture and Biotechnology, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China; <sup>2</sup>Hangzhou Botanical Garden, Hangzhou 310013, China)

**Abstract:** *Sedum lineare*, *Ophiopogon japonicus* var. *nana*, *Trachelospermum jasminoides* and *Euonymus fortunei* var. *radicans* were used to investigate the plant growth and chlorophyll fluorescence characteristics under trampling stress. The results showed that except for *Sedum lineare*, all the species behaved well after trampling and in the next year. Under trampling stress, the color of minimal fluorescence ( $F_0$ ) image got darker, and indicated a decline of chlorophyll content. The value of  $F_v/F_m$  was lower than that of untrampled ones. For *Trachelospermum jasminoides* and *Euonymus fortunei* var. *radicans*,  $q_p$  and  $ETR$  were higher than untrampled ones, and  $NPQ$  was lower than them. While *Sedum lineare* and *Ophiopogon japonicus* var. *nana* showed different trend. Combined with the indicators, *Trachelospermum jasminoides* and *Euonymus fortunei* var. *radicans* which belonged to lines exhibited better trampling resistance than tufts like *Sedum lineare* and *Ophiopogon japonicus* var. *nana*. The chlorophyll fluorescence characteristics can be used in the assessing of trampling resistance.

收稿日期: 2010-04-26; 修回日期: 2010-07-05

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2006BAD07B05)

\* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: ypxia@zju.edu.cn)

**Key words:** *Sedum lineare*; *Ophiopogon japonicus* var. *nana*; *Trachelospermum jasminoides*; *Euonymus fortunei* var. *radicans*; trampling stress; carbohydrate; chlorophyll fluorescence

国内外对耐践踏植物的研究一直以来多集中于森林植被、牧草及草坪草等 (Leonard et al., 1985; Sun & Liddle, 1993; 石强 等, 2006; 常乐 等, 2008), 对于园林地被植物的耐践踏研究甚少。程转宏等 (2008) 以盖度、生物量、丙二醛、叶绿素含量、光合速率等指标为依据比较了匍枝委陵菜、紫花地丁、车前 3 种野生地被植物的耐践踏性。本研究中从形态变化、光合产物与光合特性等方面评价 4 种园林地被植物经践踏胁迫后的损伤及恢复情况, 以探讨评价地被植物耐践踏性的指标及方法, 为城市生态园林建设中的耐践踏地被植物种类筛选工作提供理论依据。

## 1 材料与方法

试验于 2008 年 4 月至 2009 年 10 月在杭州植物园进行。试材为佛甲草 (*Sedum lineare*, 多年生肉质蔓性草本)、矮麦冬 (*Ophiopogon japonicus* var. *nana*, 多年生常绿草本)、络石 (*Trachelospermum jasminoides*, 常绿木质藤本)、小叶扶芳藤 (*Euonymus fortunei* var. *radicans*, 常绿匍匐性灌木)。均取 3 年生丛株于 2008 年 4 月 3 日定植圃地。圃地选择空间开阔、排水良好的地块, 土壤 pH 5.0~6.5, 月平均气温最低 3.6 ℃, 最高 28.7 ℃, 年平均降水量 1 400.7 mm, 相对湿度 82%。每种地被植物设践踏处理和对照, 定植于 4.0 m × 1.0 m 的畦地, 株行距 15 cm × 15 cm, 常规管理。至 2008 年 10 月达到覆地效果良好时开始践踏处理。试验人员体重适中 (65 kg), 穿无跟平底鞋, 均匀践踏。试验期间, 每周践踏 2 次, 共进行 8 次, 每次为单向走 5 趟。2009 年 10 月观察生长恢复情况。

分别于践踏结束后 2 周和 6 周进行随机取样, 在浙江大学农业与生物学院 211 平台实验室进行测定。平均株高用 4 根刻度标杆拉网测定, 读取大多数植株最高点触及的刻度, 3 次重复。采用调制式 IMAGING-PAM 叶绿素荧光仪 (德国 Walz 公司) 测定叶绿素荧光参数, 叶片经暗适应 20 min, 放入叶室进行测定, 每个处理测定 2~4 个叶片, 每个叶片上测定 12 个点。操作时照射的检验光不大于 0.1 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>, 饱和脉冲光强度为 3 000 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>。测定参数包括: PS II 原初光能转换效率 ( $F_v/F_m$ )、光化学猝灭系数 ( $q_P$ )、非光化学猝灭系数 ( $NPQ$ )、表观光合电子传递速率 ( $ETR$ ) (陈建明 等, 2006)。

数据采用 SPSS、DPS 软件进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 践踏对植株生长的影响

表 1 地被植物践踏后 2 周的株高比较  
Table 1 Comparison of plant height of the ground covers in 2 weeks after trampling /cm

处理 Treatment	佛甲草 <i>Sedum lineare</i>	矮麦冬 <i>Ophiopogon japonicus</i> var. <i>nana</i>	络石 <i>Trachelospermum</i> <i>jasminoides</i>	小叶扶芳藤 <i>Euonymus fortunei</i> var. <i>radicans</i>
未践踏 Non-trampling	6.0 ± 0.0 a	6.3 ± 0.3 a	13.7 ± 0.7 a	18.3 ± 0.3 a
践踏 Trampling	4.3 ± 0.3 b	6.3 ± 0.3 a	11.7 ± 0.7 a	16.0 ± 0.0 b

注: 不同处理间不同字母表示数据差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Note: Different letters within each variable indicate significantly different ( $P < 0.05$ ).

从表 1 中可以看出, 践踏后, 4 种地被植物都出现暂时的倒伏。践踏后 2 周, 络石、小叶扶芳

藤的株高分别下降了 14.6%和 12.6%, 因其具有匍匐生长特性, 很快便恢复原株形; 矮麦冬的丛生性强, 践踏后无明显变化; 而佛甲草倒伏严重, 株高下降 28.3%, 难以恢复, 且死亡率高, 畦地大块裸露, 第 2 年并无好转。翌年春天, 络石和小叶扶芳藤长势亦旺盛, 与未践踏的对照植物生长势相当; 矮麦冬生长缓慢, 与践踏结束时相比变化不大。

## 2.2 践踏对叶绿素固定荧光 ( $F_0$ ) 的影响

$F_0$  是 PS II 反应中心完全开放时的荧光产量, 与叶绿素含量密切相关 (张守仁, 1999)。叶绿素受光激发后发射的荧光为棕红色, 在逆境下会发生较大的变化 (陈建明 等, 2006)。未践踏的地被植物叶片在测量光下发射出棕红色的荧光, 颜色均匀一致 (图 1)。而经践踏佛甲草的叶绿素荧光颜色明显加深至暗红色, 尤其茎节部颜色暗到几乎不可见, 说明叶绿素含量已明显降低; 络石和小叶扶芳藤也表现出点状或块状的局部颜色加深, 证实了践踏对叶片叶绿素含量有一定影响; 矮麦冬践踏后颜色稍有加深, 与未践踏的差别不大。

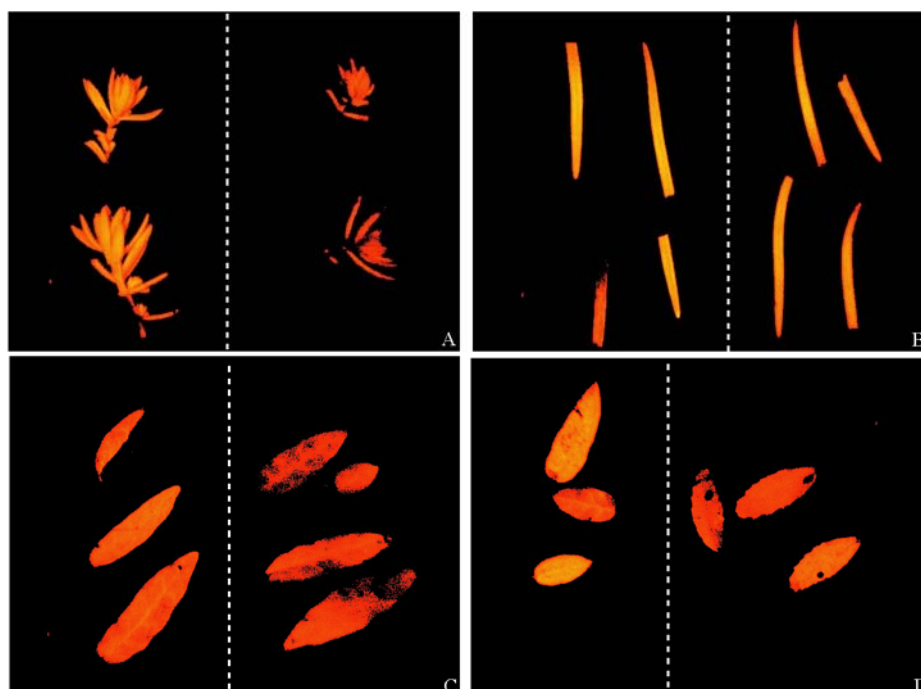


图 1 践踏对叶片外观伤害的叶绿素固定荧光 ( $F_0$ ) 成像 (践踏后 2 周)

A. 佛甲草; B. 矮麦冬; C. 络石; D. 小叶扶芳藤。左. 未践踏; 右. 践踏。

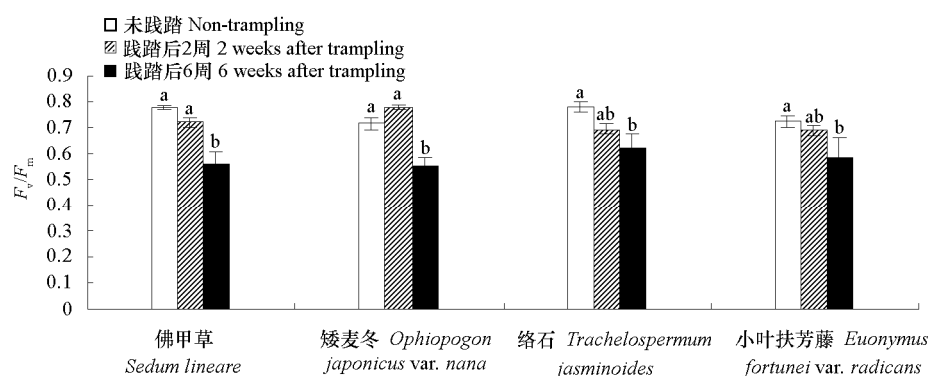
Fig. 1 Image of minimal fluorescence ( $F_0$ ) of visible injury due to trampling (2 weeks after trampling)

A. *Sedum lineare*; B. *Ophiopogon japonicus* var. *nana*; C. *Trachelospermum jasminoides*; D. *Euonymus fortunei* var. *radicans*.

Left: Non-trampling; Right: Trampling.

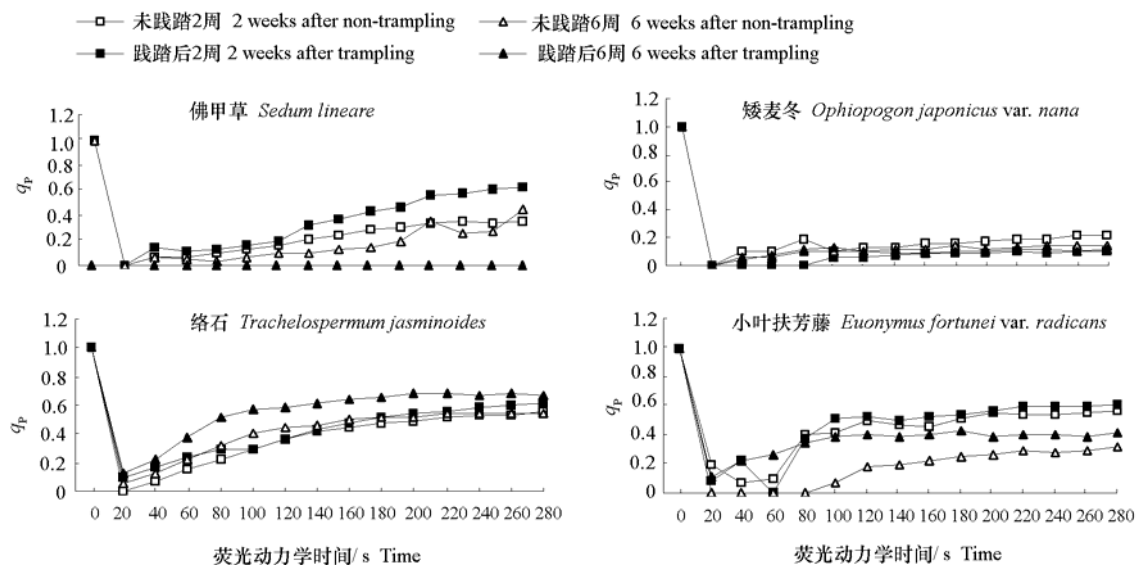
## 2.3 践踏对 PS II 原初光能转换效率 ( $F_v/F_m$ ) 的影响

逆境胁迫下光合机构受到破坏时,  $F_v/F_m$  可反映植物受到的光抑制情况 (张守仁, 1999; 张燕琴 等, 2005)。如图 2 所示, 4 种地被植物的  $F_v/F_m$  在践踏后 2 周与未践踏的对照差异不显著; 但至践踏后 6 周, 4 种地被植物的  $F_v/F_m$  明显低于未践踏的对照, 其中, 络石和小叶扶芳藤分别比对照低 20.0%和 19.0%, 但与践踏后 2 周差异不显著; 佛甲草和矮麦冬的  $F_v/F_m$  则分别比对照低 27.8%和 22.2%。说明践踏后络石和小叶扶芳藤的光合电子传递活性仍保持相对较高的水平。

图2 践踏对叶片 PS II 原初光能转换效率 ( $F_v/F_m$ ) 的影响Fig. 2 Effects of trampling on the maximum photochemical efficiency of PS II ( $F_v/F_m$ )

## 2.4 践踏对光化学猝灭系数 ( $q_p$ ) 和非光化学猝灭系数 ( $NPQ$ ) 的影响

叶绿素荧光猝灭是叶绿体耗散能量的一种途径。总体来看, 络石和小叶扶芳藤在践踏后的光化学猝灭系数 ( $q_p$ ) 高于未践踏的对照, 且与践踏后 2 周相比, 至践踏后 6 周出现明显增高 (图 3), 说明在践踏后的光化学猝灭转换成光能的作用可能被激发。矮麦冬践踏后的  $q_p$  均无显著变化; 佛甲草践踏后 2 周  $q_p$  高于对照, 但到 6 周时  $q_p$  为 0, 显示受损程度已超出叶绿素荧光能够测量的范围。

图3 践踏对叶片光化学猝灭系数 ( $q_p$ ) 的影响Fig. 3 Effects of trampling on photochemical quenching coefficient ( $q_p$ )

比较非光化学猝灭系数 ( $NPQ$ ) 来看 (图 4), 践踏胁迫的佛甲草  $NPQ$  显著高于对照, 尤其在践踏后 2 周的增高明显, 说明佛甲草在胁迫初期就有较多的激发能以热的形式散发; 矮麦冬  $NPQ$  仅在践踏后 2 周有所增加, 至 6 周时已无差异。与未践踏的对照相比, 络石和小叶扶芳藤的  $NPQ$  分别在践踏后 6 周和 2 周明显降低, 说明两种藤本植物能有效地利用这部分以热形式散发的光能。但小叶扶芳藤  $NPQ$  至践踏后期出现高于对照, 其机理不明。

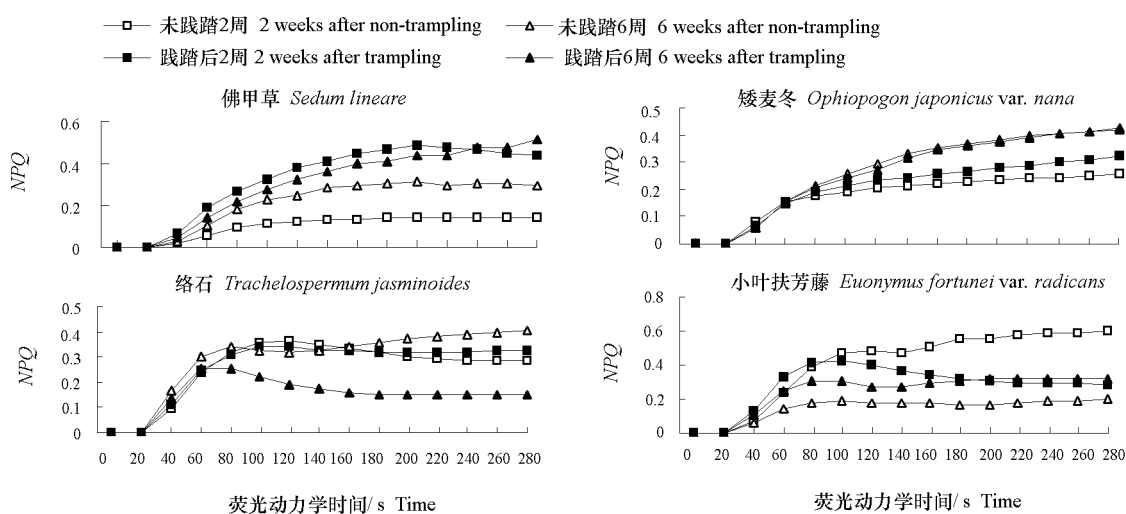


图 4 践踏胁迫对 4 种地被植物叶片非光化学淬灭系数 (NPQ) 的影响

Fig. 4 Effects of trampling on non-photochemical quenching coefficient (NPQ)

## 2.5 践踏对 PS II 的非循环电子传递速率 (ETR) 的影响

ETR 反映实际光强条件下的表观电子传递效率 (施征 等, 2008)。与未践踏的对照相比, 小叶扶芳藤在践踏后 ETR 高于对照, 尤其在 6 周后明显 (图 5); 络石无显著变化; 矮麦冬的 ETR 低于对照; 佛甲草践踏后 2 周与未践踏水平相当, 但至 6 周又无法测出。说明践踏后, 络石的光合能力仍表现正常, 小叶扶芳藤受到激发后甚至优于对照。

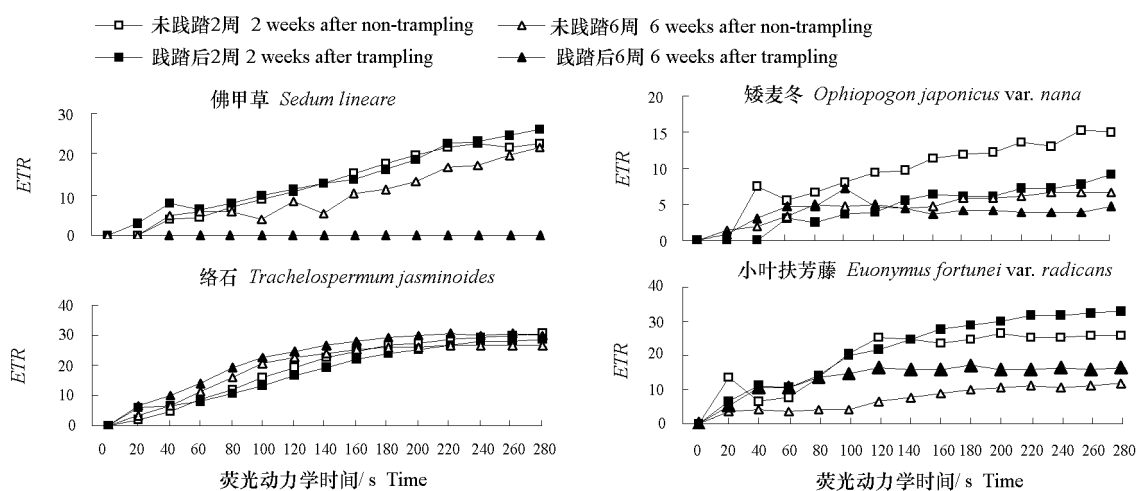


图 5 践踏胁迫对 4 种地被植物叶片表观电子传递速率 (ETR) 的影响

Fig. 5 Effects of trampling on electron transport rate (ETR)

## 3 讨论

本试验证实, 利用叶绿素荧光成像系统能够直观地反映地被植物受到的践踏胁迫伤害, 并有效比较其耐践踏性。叶绿素荧光动力学用于光抑制、低温胁迫、热胁迫、水分胁迫、盐害胁迫、营养

胁迫等方面的研究已屡见报道 (陈建明 等, 2006), 但在草坪草等耐践踏性的研究中, 虽然叶绿素含量被认为是常用指标, 却鲜见有关叶绿素荧光特性方面的研究报道。从本试验的结果来看, 对于践踏造成的植株表观损伤, 当肉眼还不易分辨时, 叶绿素荧光图像已可以明确地指出植株受到的伤害表现, 如图 1 即显示出佛甲草所受伤害最严重。说明叶绿素荧光图像能对地被植物践踏胁迫进行早期诊断。

同时, 对 4 种地被植物的  $F_v/F_m$ 、 $q_p$ 、 $NPQ$ 、 $ETR$  等叶绿素荧光参数的分析结果显示, 两种藤本地被植物络石、小叶扶芳藤在践踏后期的  $F_v/F_m$  降低幅度较小, 与对照相比, 其  $q_p$ 、 $ETR$  较高而  $NPQ$  较低, 说明两者在践踏胁迫后具有较高的光合电子传递活性, 能较充分、高效地将 PS II 捕获的光能转化为化学能, 而且在胁迫下光合能力还有所激发, 其中, 小叶扶芳藤的表现更为明显。践踏胁迫后, 两种草本地被植物矮麦冬、佛甲草的光合能力无明显变化或受到抑制, 其中佛甲草受胁迫的影响较大。

此外, 本试验在同一试验圃地栽植并践踏了草坪草狗牙根 (*Cynodon dactylon*)。络石和小叶扶芳藤在践踏后的翌年, 其生长势仍保持旺盛, 胁迫后的恢复表观趋势与狗牙根相似。有关耐践踏地被植物的恢复特性、机理尚待进一步试验研究。

## References

- Chang Le, Xia Yi-ping, Sun Xiao-jie. 2008. Status of researches and application of trampling-resistant ground covers. *Journal of Jiangsu Forestry Science & Technology*, 35 (3): 47 - 50. (in Chinese)
- 常 乐, 夏宜平, 孙晓杰. 2008. 耐践踏地被植物研究应用现状与趋势. *江苏林业科技*, 35 (3): 47 - 50.
- Chen Jian-ming, Yu Xiao-ping, Cheng Jia-an. 2006. The application of chlorophyll fluorescence kinetics in the study of physiological responses of plants to environmental stresses. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 18 (1): 51 - 55. (in Chinese)
- 陈建明, 俞晓平, 程家安. 2006. 叶绿素荧光动力学及其在植物抗逆生理研究中的应用. *浙江农业学报*, 18 (1): 51 - 55.
- Cheng Zhuan-hong, Zhao Shu-lan, Duo Li-an. 2008. Physiological and ecological responses of 3 wild groundcover plants to traffic stress. *Bulletin of Botanical Research*, 28 (5): 614 - 617. (in Chinese)
- 程转宏, 赵树兰, 多立安. 2008. 3 种野生地被植物对践踏胁迫的生理生态响应特征. *林业科学*, 28 (5): 614 - 617.
- Leonard R E, McMahon J L, Kehoe K M. 1985. Hiker trampling impacts on eastern forests. united states department of agriculture. Forest Service. Northeastern Forest Experiment Station. Research Paper NE-555, 5p.
- Shi Qiang, Liao Ke, Zhong Lin-sheng. 2006. A review of the effects of tourists' activities on vegetation. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 23 (2): 217 - 223. (in Chinese)
- 石 强, 廖 科, 钟林生. 2006. 旅游活动对植被的影响研究综述. *浙江林学院学报*, 23 (2): 217 - 223.
- Shi Zheng, Shi Sheng-qing, Xiao Wen-fa, Qi Li-wang. 2008. Influence of dehydration on characteristics of chlorophyll fluorescence of detached leaves in *Haloxylon ammodendron* and *Populus euphratica*. *Forest Research*, 21 (4): 566 - 570. (in Chinese)
- 施 征, 史胜青, 肖文发, 齐力旺. 2008. 脱水胁迫对梭梭和胡杨苗叶绿素荧光特性的影响. *林业科学研究*, 21 (4): 566 - 570.
- Sun D, Liddle M J. 1993. Plant morphological characteristics and resistance to simulated trampling. *Environmental Management*, 17 (4): 511 - 521.
- Zhang Shou-ren. 1999. A discussion on chlorophyll fluorescence kinetics parameters and their significance. *Chinese Bulletin of Botany*, 16 (4): 444 - 448. (in Chinese)
- 张守仁. 1999. 叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论. *植物学通报*, 16 (4): 444 - 448.
- Zhang Yan-qin, Li Fang, Guo Yan-ping, Chen Kun-song. 2005. Assessment of senescence of cut flowers in *Chrysanthemum morifolium* L. as judged from chlorophyll fluorescence characteristics of leaves on the same shoot. *Journal of Zhejiang University: Agriculture and Life Science*, 31 (6): 683 - 688. (in Chinese)
- 张燕琴, 李 方, 郭延平, 陈昆松. 2005. 叶片叶绿素荧光参数用作采后切花菊衰老指标. *浙江大学学报: 农业与生命科学版*, 31 (6): 683 - 688.