

doi:10.16779/j.cnki.1003-5508.2018.05.019

干旱胁迫对红花檵木叶片色素含量 及光合特性的影响

王晓娟¹, 杨东生¹, 先锐¹, 王光剑¹, 马光良¹, 周兰英²

(1. 泸州市林业科学研究院, 四川 泸州 624000; 2. 四川农业大学林学院, 四川 温江 611100)

摘要:以两年生红花檵木实生苗为材料, 采用盆栽控水法, 以正常供水为对照(CK), 探讨了轻度(T1)、中度(T2)和重度(T3)干旱胁迫下叶片色素含量和光合指标的变化。结果表明:随胁迫程度的加重, 叶绿素 a(*Chla*)、叶绿素 b(*Chlb*)、叶绿素总量(*Chl*)和类胡萝卜素(C_{x+c})总体呈上升趋势, 叶绿素 a 与 b 比值(*Chla/Chlb*)则有所下降, 且随时间的推移 CK、T2、T3 花色苷含量下降, 叶色返青; 干旱胁迫显著降低了红花檵木的净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s), 增加了胞间 CO_2 浓度(C_i)及水分利用效率(*WUE*), 各光合指标之间存在显著的相关性。研究认为, 红花檵木为偏旱性植物, 可以通过色素含量的增加以及水分利用效率的提高来适应水分亏缺的环境, 夏季高温条件下土壤含水量过高或过低, 会加快花色苷的分解, 出现返青现象, 影响其观赏价值。

关键词:红花檵木; 干旱胁迫; 叶绿素; 花色苷; 光合特性

中图分类号: S685.99

文献标识码: A

文章编号: 1003-5508(2018)05-0082-05

Effects of Drought Stress on Pigment and Photosynthetic Characteristics in Leaves of *Loropetalum chinense* var. *rubrum*

WANG Xiao-juan¹ YANG Dong-sheng¹ XIAN Rui¹ WANG Guang-jian¹

MA Guang-liang¹ ZHOU Lan-ying²

(1. Luzhou Forest Scientific Institute, Luzhuo 646000, China;

2. College of Forestry, Sichuan Agricultural University, Wenjiang 611100, China)

Abstract: A water-controlling pot experiment was conducted to evaluate the effect of slight, moderate and severe drought stress on pigment and photosynthetic characteristics in leaves of two-year-old seedlings of *Loropetalum chinense* var. *rubrum*. The results showed that the amount of *Chla*, *Chlb*, *Chl* and C_{x+c} all increased generally, while the *Chla/Chlb* ratio decreased with the aggravation of drought stress. The anthocyanin content decreased in CK, T2 and T3 under continuous drought, which turned leaves green. Drought stress reduced the P_n , T_r , G_s and enhanced the C_i and *WUE* in *Loropetalum chinense* significantly, and there were significant correlations among these photosynthetic indices. In summary, *Loropetalum chinense* tended to be a kind of xerophile plant, which could bear slight drought stress by increasing the chloroplast pigment contents and leaf water use efficiency. In practice, inappropriate water supply should be avoided, otherwise the ornamental value would be affected for the degradation of anthocyanin.

收稿日期: 2018-06-07

作者简介: 王晓娟(1990-), 女, 四川茂县人, 硕士, 助理工程师, 主要从事森林培育和林木遗传育种等研究方向, e-mail: wangxiao199012@163.com。

Key words: *Loropetalum chinense*, Drought stress, Chlorophyll, Anthocyanin, Photosynthetic characteristics

红花檵木 (*Loropetalum chinense* var. *rubrum*) 是金缕梅科 (Hamamelidaceae) 檵木属 (*Loropetalum*) 檵木 (*Loropetalum chinense*) 的变种, 又名红檵木、红桤木^[1]。该树种树姿优美、花叶俱佳、耐修剪、易造型^[2], 因其突出的观赏特性和较强的适应性及抗逆性, 被广泛应用于园林绿化、盆景等领域^[3], 具有较高的观赏价值和经济价值。

干旱是影响植物生长与分布的主要环境胁迫因子之一^[4], 近年来干旱发生的频率、范围和持续时间均有所增加^[5,6], 其对农林业造成的损失超过了其它自然灾害所造成损失的总和^[7]。红花檵木作为我国特色珍贵园林绿化植物, 同样容易遭受干旱胁迫, 影响其景观效果、引种栽培和经营管理。本文对不同程度土壤干旱胁迫下红花檵木叶片中的色素含量及光合特征值进行了研究, 以弄清在不同土壤水分条件下红花檵木的叶色和光合生理变化情况, 为红花檵木的园林应用及栽培管理提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料是由温江苗圃基地提供的两年生红花檵木实生苗, 平均株高 25 cm。植株取回当天, 栽入带有托盘的 18 cm × 20 cm 的塑料盆中, 置于四川农业大学植物苑四周通风透气的塑料大棚里。定期浇水, 保证土壤含水量在 25% 左右 (约为田间持水量的 80%), 经过一段时间的适应性生长之后选择长势相近的植株进行试验。

1.2 试验设计

采用盆栽控水法人工模拟土壤干旱胁迫, 设置 4 个水分处理, 每个处理 3 次重复, 每重复 6 盆, 共 72 盆。处理于 2017 年 4 月 1 日开始, 采用 HH2 便携式土壤水分测定仪 (ML2x, GBR) 每天同一时间对土壤含水量进行监测, 并通过换算确定需要补充的水分, 确保土壤含水量控制在设定值范围内。

- (1) 对照 (CK): 约为田间持水量的 80%;
- (2) 轻度胁迫 (T1): 约为田间持水量的 60%;
- (3) 中度胁迫 (T2): 约为田间持水量的 40%;
- (4) 重度胁迫 (T3): 约为田间持水量的 20%。

1.3 指标测定

光合色素含量: 采用分光光度法^[8]在各处理达

到设定的土壤含水量起, 干旱胁迫 30 d 左右从各处理植株上采取具有代表性的新叶, 洗净擦干, 去叶柄及中脉后剪碎混匀, 称取 0.1 g 置于研钵中, 用 2 ml 80% 丙酮和少许 CaCO₃ 研磨成匀浆, 定容至 10 ml, 离心, 取上清液避光保存后备用, 以 80% 丙酮为对照测定其在 440 nm、644 nm、622 nm 处的吸收值 (OD), 每个处理重复 5 次。

按以下公式计算色素的含量 (mg · g⁻¹):

叶绿素 a 的含量 (Chla): $Ca = 0.1 \times (9.78 \times OD662 - 0.99 \times OD644)$

叶绿素 b 的含量 (Chlb): $Cb = 0.1 \times (21.43 \times OD644 - 4.65 \times OD662)$

叶绿素的总含量 (Chl): $Ca + b = 0.1 (5.13 \times OD662 - 20.44 \times OD644)$

类胡萝卜素含量 (Cx + c): $Cx + c = (1000 \times A470 - 3.27 \times Ca - 104 \times Cb) / 229$

花色素苷含量: 按参考文献^[9]的方法在各处理达到设定的土壤含水量起, 每 10 d 测定 1 次, 连续测定 60 d。从各处理上采取具有代表性的叶片, 洗净擦干, 去叶柄及中脉后剪碎混匀, 称取 1g 放入加有 10 ml 0.1NHCl 的 15 mm 离心管中, 将其放入 30℃ 的恒温箱中, 4h 后取出, 以 3 000 r · min⁻¹ 离心 10 min, 取上清液在 722 型分光光度计下测定在 525 nm 波长处的吸光度值, 以 0.1NHCl 做空白对照, 每个处理重复 5 次。

计算公式: 花色素苷含量 (mg · g⁻¹) = OD525 / 0.1

光合特征值: 采用光合测定仪法^[10]在各处理达到设定的土壤含水量起, 干旱胁迫 30 d 左右, 于晴朗的天气条件下, 利用 Li-6400 光合测定系统分析仪测定各处理红花檵木的净光合速率 (Pn)、蒸腾速率 (Tr)、气孔导度 (Gs)、胞间 CO₂ 浓度 (Ci) 并计算水分利用效率 (WUE)。每次测定均在 9:00 ~ 11:00 之间进行, 设定光强 (PPFD) 为 1 000 μmol · m⁻² · s⁻¹, CO₂ 浓度为 380 μmol · mol⁻¹, 测定时选植株第 3 ~ 5 完全展开的叶片, 每株重复 3 个叶片, 每片重复 5 次, 每个处理选 5 株进行测定。

1.4 数据分析

采用 Excel2007 进行数据整理和图表绘制; SPSS19.0 统计分析软件对数据进行单因素方差分析 (One-way ANOVA), 并用最小显著差数法 (LSD)

进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对红花檵木叶片色素含量的影响

2.1.1 光合色素含量的变化

干旱胁迫下红花檵木叶片光合色素的变化情况如表1。由表1可知:随胁迫程度的加深叶片 *Chla*、*Chlb*、*Chl* 和 *Cx + c* 含量的变化趋势相同,均先升高

后降低,其中 T1 与 T2 之间无显著差异 ($P > 0.05$),其他处理间差异极显著 ($P < 0.01$),各色素含量的排序为: $T1 > T2 > T3 > CK$ 。*Chla* 与 *Chlb* 的比值随胁迫程度的加深而先降低后升高, T1 与 T2 之间无显著差异 ($P > 0.05$),其他处理间差异极显著 ($P < 0.01$),各处理 *Chla/Chlb* 均小于对照。可见在轻度和中度土壤干旱胁迫时红花檵木出现应激反应, *Chla*、*Chlb* 和 *Cx + c* 大量增加,而随着胁迫加剧色素开始分解,且 *Chla* 的积累程度低于 *Chlb*。

表1 干旱胁迫下红花檵木叶片色素含量方差分析表

Tab. 1 Analysis of pigment content in leaves under drought stress of *Loropetalum chinense*

处理 Treatment	<i>Chla</i> ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	<i>Chlb</i> ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	<i>Chl</i> ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	<i>Chla/Chlb</i>	<i>Cx + c</i> ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)
CK	1.770 ± 0.034Aa	0.853 ± 0.031Aa	2.623 ± 0.064Aa	2.079 ± 0.039Aa	1.084 ± 0.030Aa
T1	2.559 ± 0.002Bb	2.521 ± 0.027Bb	5.080 ± 0.025Bb	1.015 ± 0.012Bb	1.851 ± 0.001Bb
T2	2.546 ± 0.002Bb	2.527 ± 0.017Bb	5.074 ± 0.019Bb	1.007 ± 0.006Bb	1.851 ± 0.001Bb
T3	2.070 ± 0.039Cc	1.288 ± 0.063Cc	3.358 ± 0.102Cc	1.610 ± 0.05Cc	1.576 ± 0.120Bc

注:表中同一列不同大、小写字母分别表示差异达0.01和0.05显著水平,下同。

Notes: Different capital and small letters within the same column in the table indicated $P < 0.01$ and $P < 0.05$, respectively, the same as below.

2.1.2 花色苷含量的变化

干旱胁迫下红花檵木叶片花色苷的含量变化如图1,多重比较如表2所示。由图1和表2可知:随着胁迫时间的推移,CK、T2、T3的花色素苷含量逐渐下降,这与外观表现叶色转青一致,而T1的花色素苷在整个胁迫过程中变化不明显。其中,胁迫初期便引起了T3的花色素苷含量显著下降 ($0.01 < P < 0.05$),而其他处理间差异不显著 ($P > 0.05$);胁迫第20~40d左右,CK与T2下降幅度相近,两者间保持显著差异水平 ($0.01 < P < 0.05$),T3迅速下降,与其他处理间差异极显著 ($P < 0.01$);胁迫后期CK、T2、T3继续下降,各处理间差异极显著 ($P < 0.01$),与水分处理开始时相比CK、T2和T3的花色

素苷含量分别下降了24.53%、35.18%和51.85%。

表2 不同处理的叶片花色苷含量多重比较表

Tab. 2 The multiple comparisons of anthocyanin content in leaves with different treatment

处理 Treatment	胁迫时间 Stress time (d)						
	0	10	20	30	40	50	60
CK	Aa	ABa	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa
T1	Aa	Aab	Bb	Bb	Bb	Bb	Bb
T2	Aa	Ab	Ac	Aa	Aa	Cc	Cc
T3	Aa	Bc	Cd	Cc	Cc	Dd	Dd

2.2 干旱胁迫对红花檵木叶片光合特性的影响

2.2.1 光合特征值的变化

干旱胁迫下红花檵木叶片光合参数的变化如图2所示。由图2可知: Pn 、 Tr 和 G_s 具有相同的变化趋势,即随胁迫程度的加深而下降,且各处理之间差异显著 ($P < 0.05$)。 C_i 随胁迫程度的加深先降低后升高,各处理之间差异显著 ($P < 0.05$),其中T1的 C_i 最低,与CK相比下降了13.04%,T3的 C_i 迅速升高达到最大值,与CK相比上升了15.22%。 WUE 则随胁迫程度的加深呈先缓后快的上升趋势,其中轻度干旱胁迫下 WUE 上升不显著 ($P > 0.05$);而中度干旱胁迫下 WUE 显著上升 ($P < 0.05$),与CK相比上升了13.60%;重度干旱胁迫下 WUE 急剧升高 ($P < 0.05$),与CK相比上升了36.03%。

2.2.2 光合指标的相关性分析

干旱胁迫下对红花檵木光合过程中各指标进行

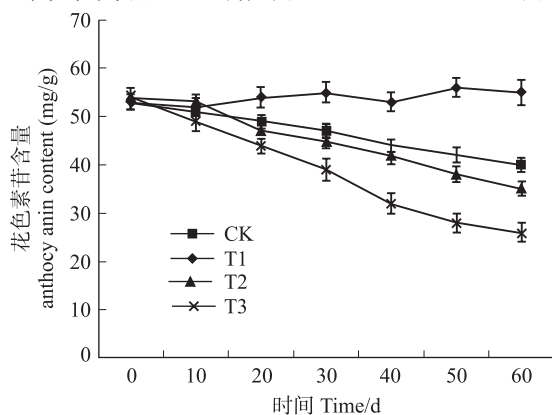


图1 叶片花色苷含量的变化

Fig. 1 The change of anthocyanin content in leaves

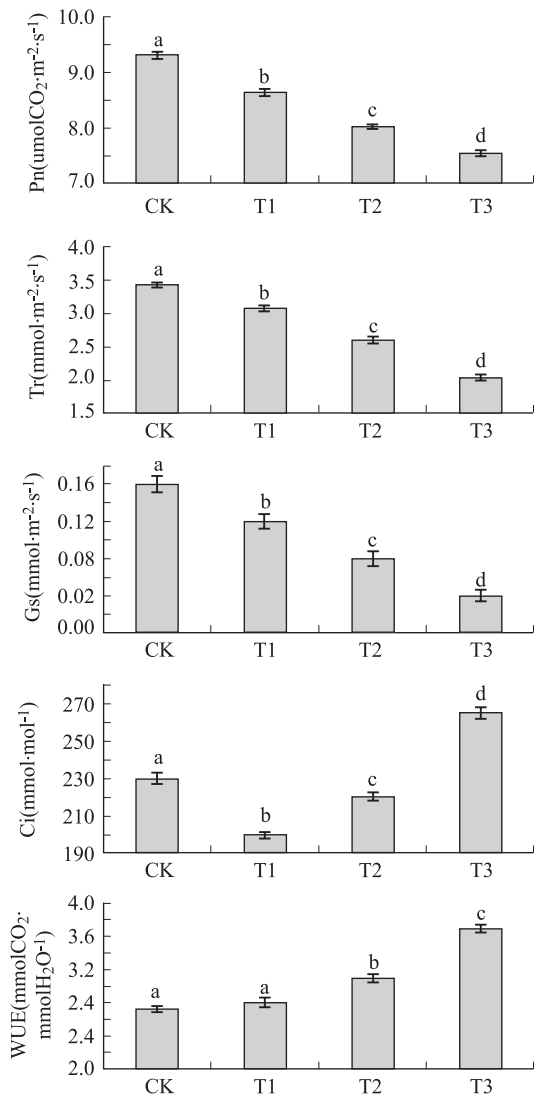


图2 干旱胁迫下红花檵木 P_n 、 T_r 、 G_s 、 C_i 及 WUE 的变化
Fig. 2 The change of P_n , T_r , G_s , C_i and WUE of *Loropetalum chinense* under drought stress

相关性分析,如表3所示。由表3可知:干旱胁迫下红花檵木各光合指标之间存在一定的相关性,其中 P_n 与 T_r 、 G_s 和 WUE 之间呈极显著相关($P < 0.01$),相关系数分别为 0.983、0.962 和 -0.870。 T_r 与 G_s 和 WUE 呈极显著相关($P < 0.01$),相关系数分别为 0.951 和 0.920,与 C_i 呈显著相关($r = 0.655$, $P < 0.05$)。 G_s 与 WUE 呈极显著相关($r = 0.940$, $P < 0.01$)。与 C_i 呈显著相关($r = 0.589$, $P < 0.05$)。可见,在干旱胁迫过程中土壤含水量越低, P_n 、 T_r 、 G_s 就越低, WUE 就越高,说明干旱胁迫对红花檵木叶片气孔调控具有抑制或破坏作用。

表3 各光合指标相关分析结果

Tab. 3 Correlation analysis results of each photosynthetic parameters

指标 Index	P_n	T_r	G_s	C_i
P_n				
T_r	0.983 **			
G_s	0.962 **	0.951 **		
C_i	0.519	0.655 *	0.589 *	
WUE	0.870 **	0.920 **	0.940 **	0.814 **

** 表示在 0.01 水平上显著相关; * 表示在 0.05 水平上显著相关。
** stand for significant levels at $P < 0.01$; * stand for significant levels at $P < 0.05$.

3 讨论

3.1 干旱胁迫对红花檵木叶片色素含量的影响

色素在植物光合作用能量转化过程中担负着吸收和传递的重任,色素含量的高低与植物生长动态有一定联系,含量越高,光合作用越强^[11]。本实验中干旱胁迫下红花檵木叶片色素含量先升高后降低,但总体保持升高的变化趋势,而 $Chla/Chlb$ 先下降后上升。说明干旱胁迫诱导了红花檵木叶片色素含量的增加,使其在逆境条件下能进行光合作用以维持其生命活动,轻度和中度干旱胁迫极大地促进了红花檵木叶片光和色素的合成;但随胁迫程度加剧植株叶片萎蔫受损,影响了色素的正常合成,光和色素含量有所下降,重度干旱胁迫下红花檵木叶片未出现失绿,体内叶绿素没有完全分解,仍能保持较高含量。

花色素苷是红花檵木叶片呈色的重要色素,其生成受温度、光、糖、pH 值、酶等多种因素的影响^[12]。本实验中,在正常供水及中度和重度土壤干旱胁迫条件下,红花檵木的花色素苷含量下降,叶色转绿;而在轻度干旱胁迫条件下花色素苷含量无显著变化,未出现转绿现象。出现此种变化可能与花色素苷的不稳定性有关,充分供水条件下花色素苷含量下降可能是因为具有较高的土壤含水量,这与费芳,王慧颖和唐前瑞^[12]的研究结果相一致,即高温高湿会加速红花檵木叶片返青。而中度和重度胁迫条件下下降,则可能是因为红花檵木受害严重,细胞衰老,加速了花色素苷的降解;轻度干旱胁迫下红花檵木为抵御逆境胁迫,酶活性升高,糖代谢活跃,且土壤水分含量适中,避免了干旱胁迫的不良影响^[13]。

3.2 干旱胁迫对红花檵木光合特性的影响

光合作用是植物重要的代谢活动,其强弱关系着植物的生长发育和抗逆性,因此常用 P_n 、 Tr 、 G_s 、 C_i 等光合参数作为判断植物生长和抗逆性强弱的指标, WUE 则用于衡量水分消耗与 CO_2 固定能力的关系,研究认为一定的干旱胁迫能促进 WUE 显著提高^[14]。本文实验结果显示,红花檵木的光合作用对土壤干旱胁迫反应较为敏感,且各光合指标之间存在显著的相关性,轻度干旱胁迫下 G_s 和 C_i 均下降,而中度和重度干旱胁迫时 G_s 继续下降而 C_i 逐渐上升,由此说明轻度干旱胁迫条件下光合速率下降的原因主要是气孔限制,中度干旱胁迫条件下气孔和非气孔限制共同作用,重度干旱胁迫条件下以非气孔限制为主,这与袁良济,杨海燕,邵远玉等^[15],主要环境因子对植物光合特性调控机制的影响研究的研究结果相似;此外,干旱胁迫显著提高了红花檵木的 WUE ,这种促进作用随胁迫程度的加深而更加显著。可见,在土壤干旱胁迫下红花檵木已形成一套较为完善的光合生理,它可通过叶绿体色素含量的增加以及气孔的调节来适应水分亏缺的不良环境。

4 结论

对红花檵木的干旱胁迫研究结果表明红花檵木具有一定的抗旱性,干旱胁迫下可通过光合作用和蒸腾作用的降低来减少对水分需求的同时提高水分利用效率,以维持其正常生长;但不同程度土壤水分亏缺对其叶色影响有所差异,整个实验过程中各处理叶片叶绿体色素含量总体升高,植株未出现失绿,但随着时间的推移,对照组及中度和重度胁迫下叶片花色素苷含量逐步下降,叶色返青,影响了其景观效果。因此我们在日后的管理和引种栽培过程中,

可根据当地水分条件和不同的绿化效果,对其进行适当的水分管理,在合理利用水资源的同时满足多元化的需求。

参考文献:

- [1] 祁承经,喻勋林. 湖南种子植物总览[M]. 长沙:湖南科学技术出版社,2002.
- [2] 梁双丽,田宏. “植物中的熊猫”—红花檵木[J]. 中国花卉园艺,2003,(22):40~41.
- [3] 李振卿,陈建业,李红伟. 彩叶树种栽培与应用[M]. 北京:中国农业大学出版社,2011.
- [4] 张力功,刘国栋,刘更另. 植物营养与作物抗旱性[J]. 植物学通报,2001,18(1):64~69.
- [5] 顾颖,刘静楠,林锦. 近60年来我国干旱灾害特点和情势分析[J]. 水利水电技术,2010,41(1):71~74.
- [6] 刘学师,宋建伟,任小林,等. 水分胁迫对果树光合作用及相关因素的影响[J]. 河南职业技术师范学院学报,2003,36(2):45~48.
- [7] 陈峪. 我国的干旱[J]. 气象知识,2006,(2):24~27.
- [8] 华中师大生物学编. 植物生理学实验指导[M]. 高等教育出版社,1985.
- [9] 宋长铤. 花色素类色素的分析方法[J]. 科技进展,1999,13(1):20~24.
- [10] 熊庆娥. 植物生理学实验教程[M]. 四川科学技术出版社,2003.
- [11] 付士磊,周永斌,何兴元,等. 干旱胁迫对杨树光合生理指标的影响[J]. 应用生态学报,2006,17(11):2016~2019.
- [12] 费芳,王慧颖,唐前瑞. 不同湿度对红花檵木叶色影响试验[J]. 华南大学学报,2008,22(1):32~35.
- [13] 陈丽,尹恒,李炎林,等. 弱光条件对红花檵木叶片色素含量的影响[J]. 信阳农业高等专科学校学报,2008,18(3):118~120.
- [14] 张真珍. 红花檵木的光合生理特性及其在园林中的应用研究.[J]. 青海农林科技,2011(2):17~19.
- [15] 袁良济,杨海燕,邵远玉,等. 主要环境因子对植物光合特性调控机制的影响研究[J]. 安徽农业科学,2010,38(5):2233~2235.