



# 干旱胁迫对红果风铃木幼苗生理生化指标的影响

丁释丰,袁 森,黄稚清,冯志坚

(华南农业大学 林学与风景园林学院,广东 广州 510642)

**摘要:**为分析红果风铃木在干旱胁迫下的生理生化响应,以1年生红果风铃木幼苗为材料,测定不同干旱胁迫程度下红果风铃木 SOD 总活性、MDA、PRO 及 SC 含量,以自然条件下生长的幼苗为对照,观察幼苗在胁迫下的受害情况。结果表明:随着干旱胁迫程度的加深,红果风铃木生长受到显著影响,水平衡在第4天明显失调,MDA 含量显著增加,Pro 和可溶性糖含量在第6天达到最大值,SOD 总活性在整个胁迫周期内变化不明显,由此判断植株体内 SOD 活性对干旱胁迫的响应具有滞后性,最终导致 MDA 含量上升,细胞质膜被破坏,Pro 与可溶性糖调节渗透压失衡,最终引起植株发生不可逆伤害。在随后 30 d 的恢复处理中,除干旱 10 d 组外,其余各组均能恢复正常生长,说明干旱 8 d 左右是红果风铃木干旱死亡的临界值。

**关键词:**红果风铃木;干旱胁迫;形态特征;生理生化指标

红果风铃木(*Handroanthus chrysotrichus*)原产于热带,属紫葳科(Bignoniaceae),风铃木属(*Handroanthus*)落叶观花乔木,具有独特的观赏效果及优良的园林应用价值。据 Garofalo 等<sup>[1]</sup>研究报道,在美国迈阿密的石灰岩地区有大量种植红果风铃木,并且开花效果良好。Rebelatto 等<sup>[2]</sup>通过对红果风铃木进行物候观察发现城市环境中的部分红果风铃木不仅不能开花结果,连生长也较自然环境中的差。目前可查询到的关于红果风铃木在我国的种植应用案例都集中于华南地区。华南地区夏季高温易引发植物缺水,进而产生干旱胁迫,但目前对红果风铃木的研

究主要集中在栽培技术<sup>[3]</sup>、生态效益<sup>[4-5]</sup>和耐涝性研究<sup>[6]</sup>等方面,在干旱胁迫下反应机理方面的研究尚未见报道。本研究对红果风铃木幼苗进行干旱处理,并测定其叶片水分含量、超氧化物歧化酶(SOD)总活性以及丙二醛(MDA)、脯氨酸(PRO)和可溶性糖(SC)的含量,探讨红果风铃木幼株对干旱胁迫的响应机理,为今后红果风铃木的推广栽培应用及耐旱品种选育与改良创新提供理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验区位于广州市林业和园林科学研究所所属的苗木种质资源圃,位于广州市白云区,地处中国东南部,广东省中南部,属海洋性亚热带季风气候,年平均气温约 20℃,平均相对湿度 77%,温暖多雨、日照时间长,全年雨热同期,十分适合植物的生长。

收稿日期:2018-09-13

基金项目:风铃木苗木栽培技术规程(2015-DB-16)。

第一作者简介:丁释丰(1994-),男,在读硕士,从事林学、植物生理和生态学研究。E-mail:105967310@qq.com。

通讯作者:冯志坚(1962-),男,副教授,从事野生植物资源保护与利用研究。E-mail:fengzj@scau.edu.cn。

## Cultivation and Benefit Analysis of Silage Maize in Cangzhou Area

LU Shan, XIAO He-xia, MAO Cai-yun, LIU Qing-song, YAN Xu-dong  
(Cangzhou Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Cangzhou 061001, China)

**Abstract:** In order to explore silage maize planting and economic benefit in the ecological type area of Cangzhou, the plant weight and economic benefits were studied through field comparison experiment of Yuqingzhu 23 and Zhengdan 958. The results showed that the average fresh weight and dry weight yield of Yuqingzhu 23 were 60 240 kg·hm<sup>-2</sup> and 15 720 kg·hm<sup>-2</sup>, respectively, and the dry matter rate was 26.08%. The average fresh weight and dry weight yield of Zhengdan 958 were 52 380 kg·hm<sup>-2</sup> and 14 400 kg·hm<sup>-2</sup>, respectively, and the dry matter rate was 27.49%. The fresh weight yield of Yuqingzhu 23 was 15.01% higher than that of Zhengdan 958, and the dry weight yield was increased by 9.17%. The average income was about 2 400 yuan·hm<sup>-2</sup>, the economic benefit of Yuqingzhu 23 was significantly higher than Zhengdan 958.

**Keywords:** silage maize; planting pattern; plant weight; economic benefit

1.2 材料

供试材料为广东国森林业有限公司苗圃提供的 1 年生红果风铃木袋装实生苗,于实验场所的育苗温室中统一管理 30 d 后进行试验处理。

1.3 方法

1.3.1 试验设计 试验设计参考刁兆龙的研究方案<sup>[7]</sup>,选取高度、长势一致的红果风铃木幼苗植株,一次性浇透水后采样一次,测定其叶片含水量及各项生理生态指标,然后使其自然干旱,于干旱开始前以及干旱的第 2、4、6、8、10 天进行各项指标测定,并统计每一株植株受害表现,每个试验组 3 个重复、每个重复 3 株幼苗,共 54 株幼苗。同时样株采样结束后,在正常环境下培养 30 d,观察其恢复情况,确定其濒死干旱天数。对照组(CK)进行常规的栽培管理,与试验组一起采样并进行指标测量,共 6 个小组,每个小组 3 个重复,每个重复 3 株幼苗,共 54 株。

1.3.2 测定项目及方法 植株叶片相对水分亏缺与土壤含水率的测定采用烘干称重法;SOD 总活性的测定方法采用氮蓝四唑(NBT)光还原法;MDA 含量的测定方法参考史树德等<sup>[8]</sup>的试验方

案;采用茚三酮显色法测定 PRO 含量;蒽酮比色法测定可溶性糖含量。

相对水分亏缺(%)=( $Lw-Lr$ )/( $Lt-Ld$ ) $\times 100$ ;土壤含水率=( $Sr-Sd$ )/ $Sr$ 。其中, $Lr$  为叶片鲜重, $Lw$  为叶片饱和鲜重, $Wd$  为叶片干重, $Sr$  为土壤鲜重, $Sd$  为土壤干重。

1.3.3 数据分析 采用 Microsoft Excel 2016 进行数据整理和图表绘制以及相关的分析。并使用 SPSS 22.0 进行进一步的方差分析和 Duncan 多重性比较,以及相关性分析。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对红果风铃木植株生长形态的影响

随着干旱胁迫的试验进行,红果风铃木的受害程度不断加深。干旱处理 2 d 后,红果风铃木植株叶片便发生轻度萎蔫,属于较轻伤害;在干旱胁迫的 4~6 d,植株叶片全部萎蔫,且叶片边缘开始干枯,植株受害程度明显加深;干旱处理 8 d 后,植株便受到了较重伤害,叶子有严重黄化并且有 1/3 叶片干枯;干旱胁迫 10 d 后,植株受到严重伤害,植株几乎已经死亡(表 1,图 1)。

表 1 不同干旱阶段的红果风铃木生长受害程度与表现

Table 1 Growth damage degree and performance of *Handroanthus chrysotrichus* in different drought stages

干旱天数/d Drought days	受害程度 Degree of victimization	植株表现 Plant expression
2	较轻伤害	植株叶片发生轻度萎蔫
4	轻度伤害	植株叶片有 2/3 萎蔫
6	中度伤害	植株全部叶片萎蔫;叶子的边缘有黄化干枯症状
8	较重伤害	叶子有严重黄化并且有 1/3 叶片干枯
10	严重伤害	叶片黄化干枯大于 1/2

2.2 干旱胁迫对红果风铃木叶片相对含水量的影响

从图 2 可以看出,随着干旱处理的进行,红果风铃木的土壤含水率呈现先下降后稳定的趋势,而相对水分亏缺呈现上升的趋势。干旱处理前正常的叶片相对水分亏缺为 3.48%,处理 4 天后叶片相对水分亏缺增加至 73.81%,干旱的第 8 天以及第 10 天,其叶片相对水分亏缺达到峰值,分别为 93.24%和 94.36%。土壤含水率则在干旱的第 8 天以及第 10 天趋于稳定,这也从侧面反映出植株以及濒死或死亡,这一结果与植株受害表现相对应,说明在干旱第 4 天后,红果风铃木受到

的干旱伤害开始加重。

2.3 干旱胁迫对红果风铃木叶片 SOD 总活性的影响

从图 3 中可以看出,在干旱的第 2~8 天,干旱组红果风铃木体内的 SOD 总活性与同期的 CK 组相比无显著差异( $P>0.05$ ),在第 10 天,干旱胁迫处理相比 CK 显著上升了 38.79%( $P<0.05$ ),达到最大值。通过多重比较发现,随着胁迫的进行,相邻阶段的 SOD 总活性并没有发生显著的变化( $P>0.05$ ),说明红果风铃木体内 SOD 对干旱胁迫敏感度较低,具有一定的滞后性。

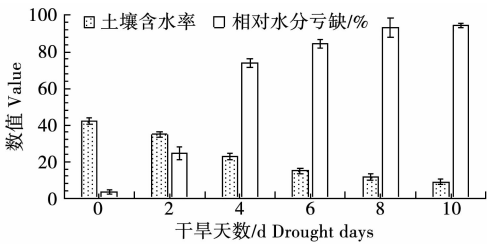


从左至右, 依次为试验组2、4、6、8 d, 下方图片为对应恢复培育情况。

From left to right, it's 2 days, 4 days, 6 days and 8 days respectively, the image below is corresponding to the restoration cultivation.

图 1 不同干旱处理天数植株受害情况及其恢复培育情况

Fig. 1 Plant damage and restoration cultivation situation in different days of drought treatment



不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ ), 下同。

Different lowercase letters represent significant differences between treatments ( $P < 0.05$ ), the same below.

图 2 干旱胁迫下红果风铃木土壤含水率与叶片相对水分亏缺

Fig. 2 Soil moisture content and relative water deficit of leaves of *Handroanthus chrysotrichus* under drought stress

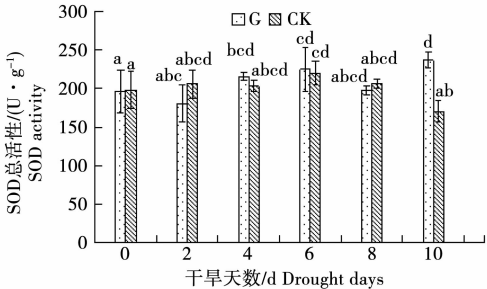


图 3 干旱胁迫对红果风铃木叶片 SOD 总活性的影响

Fig. 3 Effect of drought stress on the total SOD activity of leaves of *Handroanthus chrysotrichus*

#### 2.4 干旱胁迫对红果风铃木叶片丙二醛含量的影响

从图 4 可以看出, 红果风铃木体内丙二醛含

量呈现先上升后下降的趋势, 在干旱的第 2~4 天迅速上升, 并在第 4 天到达最大值。在干旱的第 8 天, 干旱处理相较于同期的 CK 组存在显著的差异 ( $P < 0.05$ ), 植株体内丙二醛含量上升了 147.58%, 意味着植物细胞膜质过氧化程度高, 结构破坏严重。

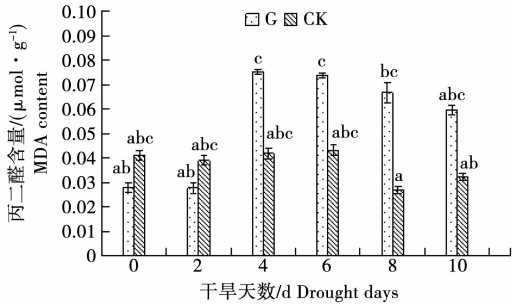


图 4 干旱胁迫下红果风铃木叶片丙二醛含量的变化

Fig. 4 Changes of MDA content in leaves of *Handroanthus chrysotrichus* under drought stress

#### 2.5 干旱胁迫对红果风铃木叶片脯氨酸含量的影响

从图 5 可以看出, 红果风铃木在干旱胁迫下体内脯氨酸含量呈现先上升后下降的趋势, 在干旱的第 6 天达到最大值, 之后开始下降。各阶段干旱胁迫的脯氨酸含量均高于同期 CK, 第 2~8 天分别上升了 506.77%、1 089.48%、4 064.51%、580.09%和 311.17%。脯氨酸含量的变化明显, 证明其在干旱胁迫中调节渗透压发挥了重要的

作用。

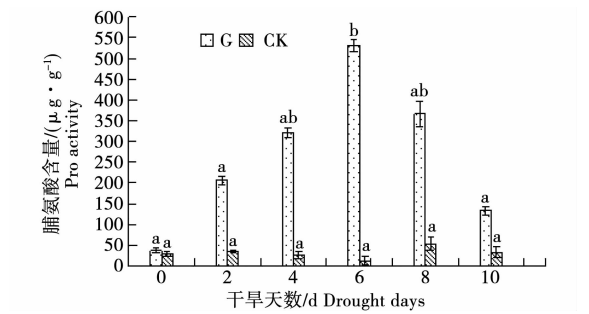


图 5 干旱胁迫下红果风铃木叶片脯氨酸含量的变化  
Fig. 5 Changes of Pro content in leaves of *Handroanthus chrysotrichus* under drought stress

2.6 干旱胁迫对红果风铃木叶片可溶性糖含量的影响

从图 6 可以看出,红果风铃木叶片中的可溶性糖含量呈先上升后下降再上升的趋势,在干旱的第 2~6 天,可溶性糖含量逐渐上升,其峰值出现在第 6 天,随后开始下降,在第 10 天再次上升。通过多重比较发现,除干旱胁迫第 4 天外,其他处理可溶性糖含量均显著高于 CK 组( $P<0.05$ )。通过对相邻阶段的可溶性糖含量进行多重比较,发现从干旱开始后,除干旱处理前和干旱第 4 天

时各个相邻阶段的可溶性糖含量均有显著差异( $P<0.05$ )。结合脯氨酸含量的变化可以说明,脯氨酸和可溶性糖一起作为渗透调节物质在红果风铃木的抗旱过程中起到了重要作用。

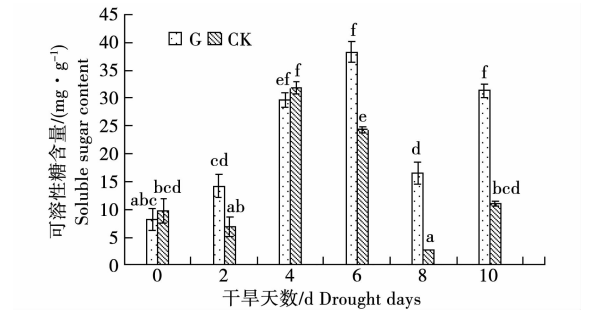


图 6 干旱胁迫下红果风铃木叶片可溶性糖含量的变化  
Fig. 6 Variation of soluble sugar content in leaves of *Handroanthus chrysotrichus* under drought stress

2.7 干旱胁迫下红果风铃木各生理生化指标的相关性分析

从表 2 可以看出,SOD 总活性与可溶性糖含量呈极显著正相关( $r=0.693^{**}$ )。MDA 含量与可溶性糖含量两者呈显著正相关( $r=0.522^{*}$ )。脯氨酸含量与可溶性含量呈显著正相关( $r=0.537^{*}$ )。其余指标之间的相关性较小。

表 2 干旱胁迫下红果风铃木各生理生化指标的相关性分析  
Table 2 Correlation Analysis of physiological and biochemical indexes of *Handroanthus chrysotrichus* under drought stress

指标 Index	SOD 总活性 Total activity of SOD	丙二醛含量 MDA content	脯氨酸含量 Pro content	可溶性糖含量 Soluble sugar content
SOD 总活性 Total activity of SOD	1.000			
丙二醛含量 MDA content	0.445	1.000		
脯氨酸含量 Pro content	0.188	0.394	1.000	
可溶性糖含量 Soluble sugar content	0.693 **	0.522 *	0.537 *	1.000

\* 表示  $P<0.05$  水平显著相关,\*\* 表示  $P<0.01$  水平显著相关。  
\* means  $P<0.05$  and \*\* means  $P<0.01$ .

3 结论与讨论

土壤含水量在一定程度上反映了干旱过程中植物为维持自身水循环平衡所能够从土壤中汲取的水分多寡,相对水分亏缺是指当植物叶片充分饱和时所需的水分含量<sup>[9-10]</sup>。从数据分析,一方面干旱会导致土壤含水量大幅度下降,另一方面红果风铃木的需水量也比较大,干旱第 4 天,相对水分亏缺增加到 70%左右,植株受中度干旱胁迫伤害,在第 8 天便受到严重伤害,叶片相对水分亏缺达到 90%,从植物在整个干旱胁迫期的生长

表现来看,红果风铃木抗旱能力较差,干旱胁迫对其伤害作用明显。

SOD 能有效清除活性氧,抑制膜脂过氧化物的产生<sup>[11]</sup>。在干旱的第 2~8 天,不同阶段的 SOD 总活性无显著差异,第 10 天,G 组 SOD 总活性显著高于 CK 组( $P<0.05$ ),说明 G 组 SOD 总活性虽然有所提高,但较于干旱胁迫的响应滞后,并不能有效地消除活性氧的损伤。植物抗旱性与脯氨酸含量呈正相关<sup>[12]</sup>,在本试验中,干旱损伤的增长速度最快为 4~6 d,红果风铃木通过增加细胞

内脯氨酸和可溶性糖含量来调节渗透压,减轻胁迫对自身的伤害。随着胁迫程度的加深,不良影响导致细胞膜选择性通透性的变化或丧失,细胞质液渗出,脯氨酸和可溶性糖含量有所下降,说明干旱胁迫可诱导大量脯氨酸和可溶性糖参与渗透调节,维持水平衡,防止干旱胁迫的危害,提高红果风铃木的抗旱性。但由红果风铃木体中 SOD 酶对干旱胁迫的响应滞后,不能有效利用其自身的酶体系消除干旱胁迫引起的活性氧的破坏,导致体内丙二醛含量迅速增加,对红果风铃木造成不可逆损伤,最终未能调节传导细胞的渗透压。随后 30 d 的复水管理表明,8 d 左右应为红果风铃木幼苗的死亡临界值。因此,红果风铃木的耐旱性不佳,在幼苗期应注意保持土壤水分含量,少雨时节应及时补充水分,避免长时间严重干旱。

#### 参考文献:

- [1] Garofalo J, Regalado R. Long-term survival of golden trumpet tree and copperpod on rockland soil in south florida[J]. Hortscience, 2006, 41(3): 502.
- [2] Rebelatto D, Leal T D S, Moraes C P D. Fenologia de duas espécies de ipê em área urbana do município de araras, são paulo, brasil[J]. REVSB AU, 2013, 8(1): 1-16.
- [3] Sampaio D S, Costa M E, Mendes-Rodrigues C. Temperature effect in the number of seedlings per seed in cultivated speci-

mens of *Handroanthus chrysotrichus* (Bignoniaceae)[J]. Iheringia Serie Botanica, 2013, 68(2): 279-283.

- [4] Abreu-Harbach L V D, Labaki L C, Matzarakis A. Effect of tree planting design and tree species on human thermal comfort in the tropics[J]. Landscape & Urban Planning, 2015, 138: 99-109.
- [5] Martini A, Biondi D, Batista A C. The microclimate of different landscape arrangements in street trees of curitiba-pr state[J]. Ciencia Florestal, 2017, 27(4): 1257-1268.
- [6] Oliveira A S D, Ferreira C S, Gracianoribeiro D, et al. Anatomical and morphological modifications in response to flooding by six Cerrado tree species[J]. Acta Botanica Brasiliica, 2015, 29(4): 478-488.
- [7] 刁兆龙. 干旱胁迫和复水对油茶苗光合、荧光和生理生化特性的影响[D]. 福州: 福建农林大学, 2014.
- [8] 史树德, 孙亚卿, 魏磊. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国林业出版社, 2011.
- [9] 丛日春, 胡雅君, 刘洪庆. 几种攀缘植物耐旱性研究[J]. 内蒙古林学院学报, 1996(3): 33-39.
- [10] 武永军, 何国强, 史艳茹, 等. 不同 pH 值缓冲液处理下蚕豆叶片相对含水量、脯氨酸及丙二醛含量的变化[J]. 干旱地区农业研究, 2009(6): 169-172.
- [11] 陈善福, 舒庆尧. 植物耐干旱胁迫的生物学机理及其基因工程研究进展[J]. 植物学通报, 1999(5): 555-560.
- [12] Singh T N, Aspinall D, Paleg L G. Proline accumulation and varietal adaptability to drought in barley: a potential metabolic measure of drought resistance[J]. Nature New Biology, 1972, 236(67): 188-190.

## Effects of Drought Stress on Physiological and Biochemical Indexes of *Handroanthus chrysotrichus* Seedlings

DING Shi-feng, YUAN Sen, HUANG Zhi-qing, FENG Zhi-jian

(College of Forestry and Landscape Architecture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

**Abstract:** In order to analyze physiological and biochemical responses of *Handroanthus chrysotrichus* to drought stress, the total activity of SOD and the contents of MDA, Pro and soluble sugar were measured under different drought stress in the 1-year old seedlings. The seedlings growing under natural conditions were used as control, and the injury of seedlings under stress was observed. The results showed that, with the deepening of drought stress, the growth of *Handroanthus chrysotrichus* was significantly affected. The water balance was obviously out of balance on the 4<sup>th</sup> day, the content of MDA increased significantly, the contents of Pro and soluble sugar reached the maximum on the 6<sup>th</sup> day. Besides that the total activity of SOD did not change significantly during the whole stress cycle, which concluded that the response of SOD activity to drought stress was delayed. The delay of SOD resulted in the increase of MDA content, consequenced the destruction of cytoplasmic membrane and the imbalance of osmotic pressure regulated by Pro and soluble sugar, which resulted in irreversible damage to plants. In the subsequent 30 days of recovery treatment, all the other groups were able to resume normal growth except for the 10-day drought group, indicating that the drought lasted for about 8 days was the critical value of the drought death of *Handroanthus chrysotrichus*.

**Keywords:** *Handroanthus chrysotrichus*; drought stress; morphological characteristics; physiological and biochemical indexes