

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3142.2014.05.020

王英,邹天才,刘海燕. 贵州特有植物美丽红山茶水分胁迫的生理响应[J]. 广西植物,2014,34(5):694—699

Wang Y,Zou TC,Liu HY. Physiological response of water stress of Guizhou endemic plant *Camellia delicata*[J]. *Guihaia*,2014,34(5):694—699

# 贵州特有植物美丽红山茶水分胁迫的生理响应

王 英<sup>1</sup>, 邹天才<sup>2</sup>, 刘海燕<sup>3\*</sup>

(1. 贵州师范大学 生命科学学院, 贵阳 550001; 2. 贵州科学院, 贵阳 550001; 3. 贵州省植物园, 贵阳 550004)

**摘 要:** 采用水分抗逆性指标主成分分析法,选择4年实生苗,测定和评价了连续30 d水涝和干旱胁迫的生理响应。结果表明:(1)水涝处理的叶片生长旺盛,光泽度和观赏性无明显变化,叶片相对含水量、MDA含量、SOD活性、POD活性、CAT活性的变化差异在5%以内,土壤含水量增加3.47%,细胞膜透性减少1.59%,短期水涝对美丽红山茶伤害不明显;(2)随着干旱时间延长,新叶卷缩、老叶脱落,土壤含水量、叶片相对含水量随时间呈负相关缓慢减少,细胞膜透性呈正相关缓慢增长,但复水10 d后可恢复正常生长,无明显生理变化响应;(3)SOD活性和MDA含量分别增加了0.66%和5.31%,POD活性随干旱时间上下波动而增加6.47%,CAT活性随干旱时间延长而增加,20 d增加33.33%达最大值20.8 U·g<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>。在抗性生理中,维持膜稳定性的叶片含水量、POD和CAT的变化对抗旱能力大小起主要作用。

**关键词:** 美丽红山茶; 水分胁迫; 生理响应; 抗逆性; 特有植物

中图分类号: Q945.78 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2014)05-0694-06

## Physiological response of water stress of Guizhou endemic plant *Camellia delicata*

WANG Ying<sup>1</sup>, ZOU Tian-Cai<sup>2</sup>, LIU Hai-Yan<sup>3\*</sup>

(1. School of Life Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China; 2. Guizhou Academy of Sciences, Guiyang 550001, China; 3. Guizhou Botanical Garden, Guiyang 550004, China)

**Abstract:** *Camellia delicata* is Guizhou endemic species and ornamental tree, so research on water stress is very important for the popularize. The paper studied 4-years seedlings, by principal components analysis method of physiological index, tested and evaluated the physiological response of waterlogged for 30 days and water stress. The results were as follows: (1) When the plants waterlogged, leaves grew well, there were no obvious changes in gloss and ornamental. The differences of leaf moisture content, MDA, SOD, POD and CAT were under 5%, soil moisture content increased 3.47%, cell membrane permeability decrease 1.59%. The damage to *C. delicata* short-term waterlogged was not obvious; (2) With drought time extension, new leaves were shriveled, old leaves broke off plant. Soil moisture content and leaf moisture content were negatively related to drought period, decreased slowly. The cell membrane permeability was positively correlated with drought period, grew slowly. But the plants returned to normal growth after watering 10d, and had not obvious physiological change response; (3) The SOD and MDA increased respectively 0.66% and 5.31%, POD fluctuated and increased 6.47% with drought time. CAT activity also increased 33.33% with drought 20 days, reached maximum 20.8 U·g<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>. In the resistant physiology, which played the leading role in drought were leaf moisture content, POD, CAT.

**Key words:** *Camellia delicata*; water stress; physiological response; stress resistance; endemic plant

收稿日期: 2014-03-30 修回日期: 2014-04-28

基金项目: 国家自然科学基金(31360075); 贵州省社会发展科技攻关项目(黔科合SY字[2012]3036号、[2013]3161号)。

作者简介: 王英(1985-), 女, 河南南阳人, 硕士研究生, 主要从事植物资源学研究, (E-mail)31739069@qq.com。

\*通讯作者: 刘海燕, 副研究员, 主要从事植物资源学研究, (E-mail)liuhaiyan301@163.com。

植物对不同逆境胁迫既有共同的适应机制,又有其适应某种逆境胁迫的专一结构或机制,特别是在非逆境条件下的植物因天然或人为因素遭受逆境的影响和作用机制的研究已越来越受到重视(王宝山,2010)。近年来树种水分胁迫的研究工作从宏观的生理生态角度来分析植物对水分胁迫的反应到微观的从细胞生物学、生理生化等角度来研究水分胁迫的响应,都有了较快的进展,郭连生等(1994)开展了针叶幼树光合速率、蒸腾速率与土壤含水量的关系及其耐旱性研究等;随着人们对树木耐旱机理认识的深入,郭连生等(1998)对华北常见的 17 个树种耐旱性进行了评价;董学军等(1999)对毛乌素沙地柏(*Juniperus sabina*)和油松(*Pinus tabulaeformis*)的水分生态进行了研究;陈鹭真等(2006)开展了红树植物淹水植物响应的研究;王满莲等(2014)对于旱胁迫与复水对块根紫金牛(*Ardisia corymbifera* var. *tuberifera*)的影响进行了研究等,皆取得了重要进展。

贵州特有植物美丽红山茶仅分布在贵州省赤水市金沙沟自然保护区,当前自然分布范围 $\leq 1 \text{ km}^2$ 。其花红色靓丽,树形美观,颇具园林观赏价值;果实较大而籽粒饱满,但野生果实病虫害严重、收益率低。美丽红山茶原产地多雾湿润,具有喜阴、喜湿的生长特性,迄今对美丽红山茶的研究大多涉及种质保护和繁育方面。邹天才等(1994,1996)对美丽红山茶植物的生物学特性进行了初步研究,并在营养生长旺盛的 4~5 月份,对美丽红山茶当年的功能叶片进行了光合生理指标测定。但对其抗性生理指标的研究尚处于空白。本文采用连续水涝和干旱处理,较系统地研究美丽红山茶实生苗对水分胁迫的生理响应,综合评价美丽红山茶的抗涝性和抗旱性,为这一珍稀特有植物在迁地保护和推广种植提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验材料

采用生长良好、长势基本一致、无病虫害的 4 年生实生盆栽苗进行水分逆境胁迫;土壤为贵州省植物园采集的黄壤与腐殖土的混合基质。

### 1.2 试验方法

1.2.1 胁迫处理 美丽红山茶的植株正常养护管理 3 个月后进行水分逆境胁迫处理。水分胁迫处理前

浇透水,设对照(正常管理)、自然干旱(不浇水)、水涝(水淹状态)3 种处理 30 d 后,再进行正常浇水管理(即恢复)。试验分 3 个阶段:处理前、胁迫处理和恢复(表 1)。实验地点为贵州师范大学试验基地的温室(温度 25 ℃,湿度 70%~90%),每个处理 4 盆植株,设置 3 个重复。

表 1 各处理阶段及编号

Table 1 The processing stage and number

处理 Treatment	处理前 Before processing	胁迫处理(d) Stress treatment						恢复(d) Rewatering	
		5	10	15	20	25	30	5	10
阶段编号 Phase number	1	2	3	4	5	6	7	8	9

1.2.2 形态指标测定 每 5 d 对植株叶片颜色、形态进行观测记录。

1.2.3 生理指标测定 土壤含水量用质量法测定,叶片相对含水量按照饱和含水量法测定,细胞膜透性用相对电导率法,丙二醛含量(MDA)用硫代巴比妥酸(TBA)比色法,超氧化物歧化酶(SOD)活性用氯化硝基四氮唑蓝(NBT)光化还原法测定,过氧化物酶(POD)活性用愈创木酚法测定,过氧化氢酶(CAT)活性用紫外分光光度法测定(王学奎,2006;汤绍虎,2012)。

### 1.3 数据统计分析

试验数据采用 SPSS17.0 进行数据处理及分析和 Excel2003 制图。

## 2 结果与分析

### 2.1 水分逆境胁迫对植株形态的影响

每 5 d 对植株叶片颜色、形态进行观察,表 2 显示,美丽红山茶在水涝和对照处理下,没有明显的受害症状,植株生长旺盛,叶片保持原有光泽。

### 2.2 水分胁迫对土壤含水量的影响

从图 1 看出,水涝处理(平均 58.83%)比对照组(平均 55.36%)土壤含水量总体要高,但与对照组差异不明显;干旱处理过程中,随着处理时间延长,土壤含水量成直线下降趋势,到第 30 天,达最低值,降低了 31.16%,复水后又迅速回到正常水平。

### 2.3 水分胁迫对叶片相对含水量的影响

从图 2 看出,水涝处理(平均 87.62%)与对照组(平均 86.06%)叶片相对含水量基本一致;在持续干旱处理下,叶片相对含水量总体呈下降趋势,第 30

表2 干旱胁迫下美丽红山茶不同阶段形态特征  
Table 2 Morphological features of *C. delicate* in different stages of water stress

阶段 Phase	形态特征 Morphological characteristics
1	正常, 无受害症状 Normal growth, no harmed symptoms.
2	正常, 基本无受害症状 Normal growth, almost no harmed symptoms.
3	大部分叶片正常, 个别新叶有卷缩 Most leaves grew normally, individual new leaves were shrivelled.
4	大部分叶片正常, 5%的叶片变黄 Most leaves grew normally, 5% leaves became yellow.
5	叶片失去光泽, 10%的老叶轻微黄褐色 Leaves began to fade, 10% old leaves showed slight tawny.
6	10%的老叶有脱落, 新叶卷缩严重 10% old leaves fall, new leaves were shrivelled seriously.
7	叶片卷缩严重, 30%的老叶脱落, 幼嫩叶柄开始枯萎 Leaves were shrivelled seriously, 30% old leaves fall, young petioles began to wither.
8	枝干开始变绿, 叶片出现光泽, 有新芽出现 Branches began to green, leaves were luster, and sprouts appeared.
9	新叶长出, 恢复正常 New leaves were growing out, plants returned to normal.

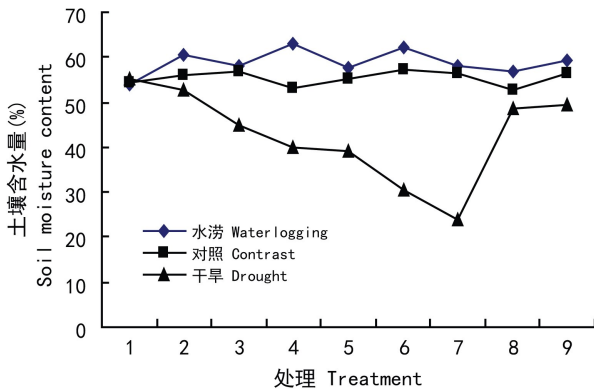


图1 水分胁迫对土壤含水量的影响

Fig. 1 Effects of water stress on moisture content

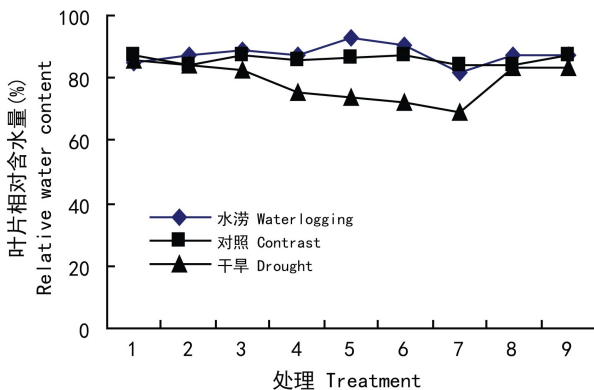


图2 水分胁迫对叶片相对含水量的影响

Fig. 2 Effects of water stress on relative water content

天达最低值,下降了 16.70%,复水后迅速回到正常水平。说明干旱处理下美丽红山茶叶片相对含水量

随土壤含水量的降低而降低,成正相关。

## 2.4 水分胁迫对细胞膜透性的影响

从图3看出,水涝处理(平均 19.02%)下的电导率基本不变;对照组的电导率(平均 20.61%)呈小幅波动状况;干旱处理下电导率呈缓慢增长趋势,到 30 d 达最大值,增长了 11.96%,复水后回到胁迫前的水平。说明细胞膜受到破坏,电解质外渗。

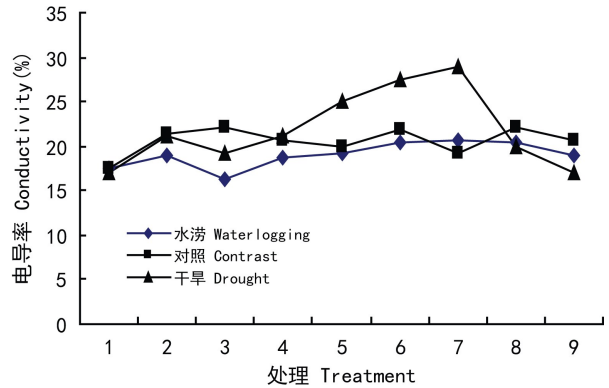


图3 水分胁迫对细胞膜透性的影响

Fig. 3 Effects of water stress on conductivity

## 2.5 水分胁迫对丙二醛(MDA)含量的影响

从图4可以看出,水涝处理(平均  $2.38 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{Fw}$ )和对照组(平均  $2.51 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{Fw}$ ),MDA含量呈先小幅增高再下降后升高的趋势,说明水涝和正常浇水对 MDA 含量的影响不大;干旱处理下,丙二醛含量呈明显的波动状态,第 5 天突然升高 61.39%后又降低 56.08%,到第 25 天达到最高值 ( $3.853 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{Fw}$ ),复水后恢复到正常水平。说明细胞膜在干旱前期遭到破坏但不严重,到 25 d 重度干旱胁迫下,又大幅增加,细胞膜破坏加剧,随着处理时间延长适应了干旱环境,又有所下降,复水后又恢复正常水平。

## 2.6 水分胁迫对超氧化物歧化酶(SOD)活性的影响

从图5看出,水涝处理(平均  $4851.59 \text{U} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ )和对照组(平均  $4874.60 \text{U} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ ),SOD活性变化不大;干旱处理下,SOD活性先增高 10.51%后降低到 9.85%,复水后又恢复正常水平,但总体变化幅度不大,说明水分胁迫对美丽红山茶的 SOD 活性影响不大。

## 2.7 水分胁迫对过氧化物酶(POD)活性的影响

从图6看出,处理初期,水涝、对照和干旱处理下,POD活性都有所下降,干旱处理下降更为明显,在第 10 天活性最低为  $599.6 \text{U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ,随着处

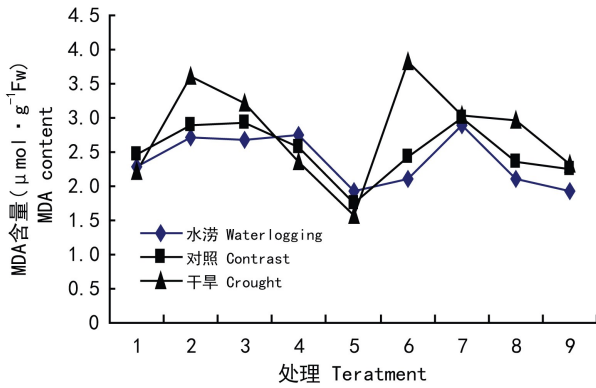


图 4 水分胁迫对丙二醛含量的影响

Fig. 4 Effects of water stress on MDA content

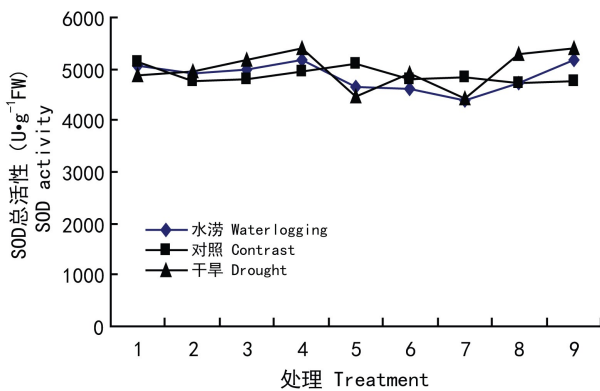


图 5 水分胁迫对超氧化物歧化酶活性的影响

Fig. 5 Effects of water stress on SOD activity

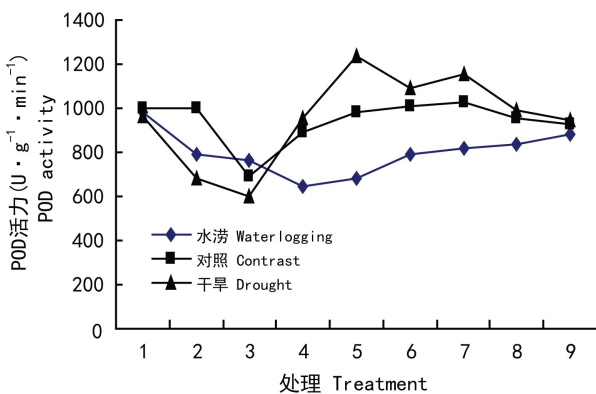


图 6 水分胁迫对过氧化物酶活性的影响

Fig. 6 Effects of water stress on POD activity

理时间延长, POD 活性不断上升, 干旱处理下的变化更突出, 复水后基本恢复正常水平, 说明 POD 活性对于干旱胁迫比水涝胁迫更敏感。

## 2.8 水分胁迫对过氧化氢酶(CAT)活性的影响

从图 7 看出, 水涝处理(平均  $15.70 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ )

和对照组(平均  $16.06 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ), CAT 活性略增加后又下降, 基本呈一直线, 说明水涝及正常浇水处理对 CAT 活性影响不大; 干旱处理下, 随着处理时间的延长 CAT 活性明显增加, 到第 20 天达最大值( $20.80 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ), 增加了 33.33%, 复水后恢复正常水平。

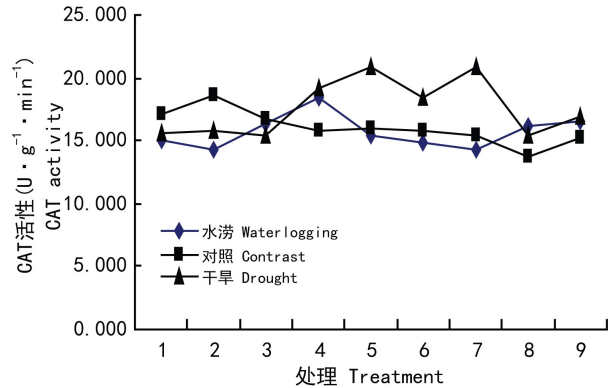


图 7 水分胁迫对过氧化氢酶活性的影响

Fig. 7 Effects of water stress on CAT activity

## 2.9 生理指标的主成分分析

2.9.1 水涝处理的主成分分析 由表 3 可知, 水涝处理下的前 3 个主成分的贡献率分别为 32.620%、28.042%、21.851%, 累计贡献率达 82.513% (>80%)。前 3 个主成分基本能反映原始数据中所含的主要信息, 因此抽取前 3 个主成分为测定指标。

根据表 4 得出美丽红山茶抗涝性的 3 个主成分的方程如下: 第一主成分  $Y_1 = 0.274X_1 + 0.235X_2 - 0.16X_3 + 0.015X_4 + 0.245X_5 - 0.318X_6 + 0.348X_7$ ; 第二主成分  $Y_2 = 0.285X_1 + 0.15X_2 + 0.396X_3 - 0.018X_4 - 0.381X_5 - 0.291X_6 - 0.138X_7$ ; 第三主成分  $Y_3 = 0.196X_1 - 0.462X_2 - 0.011X_3 + 0.624X_4 - 0.008X_5 - 0.105X_6 + 0.035X_7$ 。

从表 3 和表 4 看出, 第一主成分特征根为 2.283, 方差贡献率为 32.620%, 代表全部变量信息的 32.620%, 是 7 个主成分中最大的, 在全部变量中处于最重要地位。第一个主成分主要由 POD、CAT 决定, 综合反映了树种的抗涝能力。第二个主成分特征根为 1.963, 方差贡献率为 28.042%, 代表全部变量信息的 28.042%, 是仅次于第一主成分的重要主成分。第二个主成分主要由电导率、SOD 决定。第三个主成分特征根为 1.530, 方差贡献率为 21.851%, 主要由叶片相对含水量和 MDA 决定。表明美丽红山茶的抗涝能力大小主要由保护酶



表 3 主成分特征根及贡献率

Table 3 Principal component eigenvalues and contribution rate

成分 Component	水涝 Waterlogging			干旱 Drought		
	特征根 Eigenvalues	贡献率 (%) Contribution rate	累积贡献率 (%) Cumulative contribution rate	特征根 Eigenvalues	贡献率 (%) Contribution rate	累积贡献率 (%) Cumulative contribution rate
1	2.283	32.620	32.620	4.628	66.120	66.120
2	1.963	28.042	60.662	1.455	20.787	86.907
3	1.530	21.851	82.513	0.583	8.333	95.240
4	0.729	10.415	92.928	0.26	3.715	98.955
5	0.405	5.786	98.714	0.058	0.833	99.787
6	0.069	0.979	99.693	0.012	0.174	99.962
7	0.021	0.307	100	0.003	0.038	100

表 4 成分得分系数矩阵

Table 4 Component Score Coefficient Matrix

项目 Item	水涝处理的成分 Component by waterlogged			干旱处理的成分 Component by drought	
	1	2	3	1	2
	土壤含水量 Soil moisture content ( $X_1$ )	0.274	0.285	0.196	0.197
叶片相对含水量 Leaf relative water content ( $X_2$ )	0.235	0.150	-0.462	0.209	-0.089
电导率 Conductivity ( $X_3$ )	-0.160	0.396	-0.011	-0.201	0.228
MDA 含量 MDA content ( $X_4$ )	0.015	-0.018	0.624	0.014	0.674
SOD 活性 SOD activity ( $X_5$ )	0.245	-0.381	-0.008	0.157	0.056
POD 活性 POD activity ( $X_6$ )	-0.318	-0.291	-0.105	-0.167	-0.318
CAT 活性 CAT activity ( $X_7$ )	0.348	-0.138	0.035	-0.201	-0.165

(POD、CAT)活性决定。

2.9.2 干旱处理的主成分分析 从表 3 看出,干旱处理下的前 2 个主成分的贡献率分别是 66.120%、20.787%,累计贡献率达 86.907%(>80%)。前 2 个主成分基本能反映原始数据中所含的主要信息,因此抽取前 2 个主成分为测定指标。

根据表 4 得出美丽红山茶抗旱性的 2 个主成分的方程如下:第一主成分  $Y_1 = 0.197X_1 + 0.209X_2 - 0.201X_3 + 0.014X_4 + 0.157X_5 - 0.167X_6 - 0.201X_7$ ;第二主成分  $Y_2 = -0.204X_1 - 0.089X_2 + 0.228X_3 + 0.674X_4 + 0.056X_5 - 0.318X_6 - 0.165X_7$ 。

从表 3 和表 4 看出,第一主成分特征根为 4.628,方差贡献率为 66.120%,代表全部变量信息的 66.120%,是 7 个主成分中最大的,在全部变量中处于最重要地位。第一个主成分主要由叶片相对含水量、电导率、CAT 活性决定,综合反映了树种的抗旱能力。第二个主成分特征根为 1.455,方差贡献率为 20.787%,代表全部变量信息的 20.787%,是仅次于第一主成分的重要主成分,第二个主成分主要由 MDA 决定。表明美丽红山茶的抗旱能力大小主要由维持膜稳定性的水分生理指标(叶片相对含水量、

电导率)及 CAT 活性决定。

### 3 讨论与结论

植物的生长发育受到外界环境的影响,其中水涝和干旱是对其生长发育造成直接影响的两大重要因素。目前,受全球气候变暖和环境污染的影响,我国的气候异常变化和环境污染也日趋严重,同一地区常发生不同程度的水涝和干旱,本试验采用连续水涝和干旱两种胁迫来评价美丽红山茶的生理抗性和栽培适应性,对美丽红山茶植物种质资源的有效保护和合理开发利用意义重大。

(1)美丽红山茶在水涝处理 30 d 时,生长正常,叶片生长旺盛,保持原有光泽,其观赏性与对照无差异;叶片含水量、MDA 含量、SOD 活性、POD 活性、CAT 活性变化平缓,相对差异 5%左右,土壤相对含水量高于对照组 3.47%,细胞膜透性略低于对照组 1.59%,表明短期水涝胁迫对美丽红山茶无明显伤害,这与其多雾湿润的原生地环境密切相关,表现出与其生态环境长期生长发育的适应能力。

(2)美丽红山茶干旱处理 30 d 后,随着干旱时

间延长,植株新叶卷缩,老叶脱落,但 10 d 复水后又恢复正常水平;土壤含水量随干旱呈直线下降、叶片相对含水量呈直线缓慢下降、细胞膜透性呈缓慢增长趋势、但复水后均恢复正常水平,说明干旱对这几项生理指标影响不明显;SOD 活性在干旱下先增加了 10.51% 后降低到原来的 9.85%,但幅度较小,说明干旱胁迫对美丽红山茶 SOD 活性影响也不明显;MDA 含量波动较大,先增高了 61.39% 后下降了 56.08%,25 d 重度胁迫下,MDA 含量又大幅增加 58.88%,细胞膜破坏加剧,随着干旱时间延长含量又有所下降;POD 活性先下降 37.62% 后上升 51.48% 再下降 7.39%,变化幅度较大,说明 POD 活性对于干旱胁迫更敏感;随着干旱时间的延长 CAT 活性明显增加,第 20 天达到最大值  $20.8 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ,增加了 33.33%。复水后 10 d 恢复正常水平。综上所述,在干旱胁迫下,物理指标(叶片相对含水量、细胞膜透性)导致的影响不明显,而化学指标(MDA 含量、POD 活性、CAT 活性)却能明显地影响到植株的生长表现,但所有生理指标复水后均能恢复到正常水平。

(3)通过主成分分析筛选综合指标,可减少测定指标,在科学研究中具有一定实际意义(申学圣,2012)。本研究结果表明,各抗性生理指标中,美丽红山茶的抗涝能力大小主要由保护酶活性(POD、CAT)决定;其抗旱能力大小主要由维持膜的稳定性的水分生理指标(叶片相对含水量、电导率)及 CAT 决定,其中决定因素叶片相对含水量 > 电导率及 CAT。在抗性生理中,维持膜稳定性的叶片含水量、POD 和 CAT 的变化对抗旱能力大小起主要作用。

(4)在植物生长过程中,水分过少或过多都对植物生命活动产生伤害。在水分逆境胁迫下,植物细胞内大量富集有害物质( $\text{H}_2\text{O}_2$ 、 $\text{O}_2^{\cdot-}$ ),引起膜脂过氧化作用,破坏膜的正常功能;同时膜脂过氧化产物丙二醛(MDA)也加剧对其细胞膜的损害。由于 SOD、POD、CAT 能清除植物体内的有害物质转化成  $\text{O}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$ ,在其水分逆境胁迫过程中会发生有益作用。因此,可以考虑施用肥料、植物生长物质或人工调控措施来促使 SOD、POD、CAT 调节作用的发挥,以减少水分逆境胁迫对植物生长造成的伤害,从而提高资源保护和栽培生产的能力和水平。开展美丽红山茶水分逆境胁迫下生理指标变化的试验研究,总结出该植物水分逆境胁迫生理指标的动态变

化及其对植物栽培生长的影响规律,为美丽红山茶的迁地保护和大规模推广种植提供科学依据,并为珍稀濒危植物资源的保护与利用提供经验。

## 参考文献:

- Chen LZ(陈冀真),Lin P(林鹏),Wang WQ(王文卿). 2006. Mechanisms of mangroves waterlogging resistance(红树植物淹水胁迫响应研究进展)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报),**26**(2): 586-593
- Dong XJ(董学军),Chen ZX(陈仲新),A LTB(阿拉腾宝),*et al.* 1999. A preliminary study on the water regimes of *Sabina vulgaris* in Maowusu Sandland(毛乌素沙地沙地柏的水分生态初步研究)[J]. *Acta Phytoecol Sin*(植物生态学报),**23**(4):311-319
- Feng GS(冯国生),Lü ZT(吕振通),Hu B(胡博),*et al.* 2011. SPSS Statistical & Application(SPSS 统计分析与应用)[M]. Beijing(北京):China Mechanics Press(机械工业出版社)
- Guo LS(郭连生),Tian YL(田有亮). 1998. Study on drought-resistance evaluation of common afforestation species in north China by PV technique(运用 P-V 技术对华北常见造林树种耐旱性评价的研究)[J]. *J Inner Mongolia For Coll*(内蒙古林学院学报),**20**(3):1-8
- Guo LS(郭连生). 1994. Relations of four coniferous young trees' photosynthetic and transpiration rates to soil moisture content and their drought resistance(4 种针叶幼树光合速率蒸腾速率、与土壤含水量的关系及其抗旱性的研究)[J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报),**5**(1):32-36
- Huang BC(黄本春),Li GZ(李国柱). 2010. Experimental Course of Statistics(统计学实验教程)[M]. Beijing(北京):China Economic Publishing House(中国经济出版社)
- Huang CL(黄承玲),Chen X(陈训),Gao GL(高贵龙),*et al.* 2011. Physiological response of seedlings of three *Azalea* species of drought stress and evaluation of drought resistance(3 种高山杜鹃对持续干旱的生理相应及抗旱性评价)[J]. *Sci Silvae Sin*(林业科学),**47**(6):48-55
- Institute of Plant Physiology & Ecology,CAS(中国科学院上海植物生理研究所),The Shanghai Society for Plant Physiology(上海市植物生理学会). 1999. Guidance of Modern plant physiology experiment(现代植物生理学实验指南)[M]. Beijing(北京):Science Press(科学出版社)
- Ma J(马剑),Liu GL(刘桂林),Xie FF(颜芳芳),*et al.* 2011. Effect of water stress on growth and physiological characteristics of *Sedum spectabile* (水分胁迫对八宝景天生理特性的影响)[J]. *Chin Agric Sci Bull*(中国农学通报),**27**(6):99-102
- Shen XS(申学圣),Gong YB(宫渊波),Chen LW(陈林武),*et al.* 2012. Principal component analysis on drought-resistance of 4 native tree species in arid valleys of the Minjiang River(岷江上游干旱河谷 4 个乡土树种的抗旱生理指标主成分分析)[J]. *Guizhou For Sci Technol*(贵州林业科技),**40**(4):1-6
- Tang SH(汤绍虎),Luo C(罗充). 2012. The experimental course of Plant Physiology(植物生理学实验教程)[M]. Chongqing(重庆):Southwest China Normal University Press(西南师范大学出版社)
- Wang BS(王宝山). 2010. Plant Biology Under Stress(逆境植物生物学)[M]. Beijing(北京): Higher Education Press(高等教育出版社)