

自然干旱胁迫及复水处理对红秆寒竹生理特性的影响

应叶青, 郭 璟, 魏建芬, 晏金凤, 路 英, 方 伟

(浙江农林大学 浙江省现代森林培育技术重点实验室, 浙江 临安 311300)

摘要: 干旱胁迫是影响植物生长发育及园林应用的重要因子。为掌握红秆寒竹 *Chimonobambusa marmorata* f. *variegata* 的抗旱能力及其抗旱机制, 于温室内测定了其自然干旱及复水后的叶绿素(Chl)质量分数、超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性、丙二醛(MDA)质量摩尔浓度。结果表明: 随着干旱胁迫时间的延长, 叶绿素质量分数从 4.470 mg·g⁻¹ 降到 1.807 mg·g⁻¹, 干旱处理 30 d 后一直比较稳定。随着干旱胁迫加强, CAT 和 SOD 活性、丙二醛质量摩尔浓度均呈增加的趋势, 在处理 30 d 后。CAT 和 SOD 活性均维持在较高且稳定的水平, 丙二醛质量摩尔浓度在 40 d 时达到最高水平。复水 5 d 后, 叶绿素质量分数和 CAT 活性基本不变, SOD 活性和丙二醛质量摩尔浓度则有所下降。红秆寒竹叶片细胞膜自我修复能力较强, 具有较强的抗干旱能力。图 1 表 2 参 14

关键词: 森林生物学; 红秆寒竹; 干旱胁迫; 保护酶活性; 叶绿素

中图分类号: S718.43; S795 文献标志码: A 文章编号: 1000-5692(2010)04-0513-05

Physiological characteristics of *Chimonobambusa marmorata* f. *variegata* with natural drought stress and rewetting

YING Ye-qing, GUO Jing, WEI Jian-fen, YAN Jin-feng, LU Ying, FANG Wei

(The Key Laboratory for Modern Silvicultural Technology of Zhejiang Province, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: To understand drought resistance capacity of *Chimonobambusa marmorata* f. *variegata* and how it occurs, the dynamics of *C. marmorata* f. *variegata* and its levels of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), malondialdehyde (MDA), and chlorophyll were determined with leaves experiencing conditions of natural drought and rewetting. Results indicated that as drought stress continued (0 - 30 d), chlorophyll content significantly ($P < 0.01$) decreased from 4.470 to 1.676 mg·g⁻¹ and after 30 d treatment remained stable. CAT and SOD increased significantly ($P < 0.01$) as drought stress increased (0 - 30 d), and after 30 d treatment maintained high levels. MDA levels were highest when 40 d treatment. After rewetting for 5 d, chlorophyll and CAT remained unchanged, whereas SOD and MDA decreased significantly ($P < 0.01$) when 5 d rewetting. This indicated that a self-repair mechanism in the leaf cell membrane of bamboo was strong, and therefore, *Chimonobambusa marmorata* f. *variegata* was a drought-tolerant plant. [Ch, 1 fig. 2 tab. 14 ref.]

Key words: forest biology; *Chimonobambusa marmorata* f. *variegata*; drought stress; protective enzyme activity; chlorophyll content

红秆寒竹 *Chimonobambusa marmorata* f. *variegata* 为寒竹 *Chimonobambusa marmorata* 的栽培变型^[1], 在浙江和福建等省有分布, 世界各地多已有引种栽培^[1-2], 其株高为 80 ~ 120 cm, 秆红色至粉红

收稿日期: 2009-09-28; 修回日期: 2009-11-23

基金项目: 浙江省重大科技专项(2006C12008)

作者简介: 应叶青, 副教授, 从事现代种苗培育及竹林培育技术研究。E-mail: yeqing@zjfc.edu.cn。通信作者: 方伟, 教授, 博士生导师, 从事竹林培育与利用研究。E-mail: FWL@zjfc.edu.cn

色, 枝叶繁茂, 叶片偶尔具不规则白色条纹, 耐修剪, 适于盆栽, 观赏价值极高, 为庭院及室内绿化的优良观赏竹种^[2]。通过红秆寒竹的抗性研究, 充分发挥其观赏特性, 加快其开发利用, 可丰富园林绿化竹种种类, 为中国城乡绿化、室内装饰等提供高品质的观赏竹绿化苗木。然而到目前为此, 国内外在观赏竹领域的研究相对较少, 且主要集中在资源调查分类、选育栽培和园林应用上, 而对观赏竹的环境适应性的研究甚少^[3]。本研究通过自然持续干旱胁迫下红秆寒竹形态变化、生理响应的研究, 初步了解其抗旱能力及抗旱机制, 为该竹种的引种栽培及园林应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料及设计

实验材料红秆寒竹于2001年从日本引种, 在浙江林学院林木良种基地栽培, 为防止冻害发生, 冬天搭暖棚保温越冬。2004年6月将部分材料移栽上盆于温室栽培, 部分继续野外自然栽培。2008年6月中旬于温室内进行分株换盆, 盆栽土壤体积比为珍珠岩: 泥炭: 蛭石 = 1: 2: 1的混合土, 并浇透水。2008年9月底对它们进行干旱处理, 实验前灌透水1次(连续3 d, 每次浇至盆底托盘中有水渗出), 以后不再浇水, 自然持续干旱。实验从9月29日开始, 分别在干旱胁迫0, 10, 20, 30, 40 d后采集红秆寒竹中部枝条生长充实的功能叶, 测定叶绿素(Chl)质量分数、超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性、丙二醛(MDA)质量摩尔浓度等生理指标, 采样重复3次·次⁻¹。另外, 在干旱处理的第40天傍晚对红秆寒竹复水, 之后的1, 3, 5 d分别取样测定上述生理指标。

1.2 指标测定

土壤含水量采用烘干称量法测定: 称取容器中部土样10 g, 装入铝盒, 在105~110℃下烘干6~8 h, 计算土壤含水量。叶绿素质量分数测定采用浸提法; SOD活性测定采用氮蓝四唑法; 用硫代巴比妥酸(TBA)反应法测定丙二醛质量分数^[4]。CAT活性测定采用郝再彬等^[5]方法。

1.3 数据统计分析

数据统计分析采用统计分析软件SAS进行。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫下土壤含水量及植株外形上的变化

干旱处理后, 土壤含水量随胁迫持续发生了显著的变化(图1), 土壤含水量由正常浇水时的80.6%下降至干旱第40天的9.2%, 各观察时间点上土壤含水量差异显著。胁迫结束时, 土壤含水量已经很低, 但观察到红秆寒竹植株没有发生明显萎焉现象, 叶色从翠绿色转变为黄绿色。

2.2 干旱胁迫对红秆寒竹叶绿素质量分数的影响

2.2.1 干旱胁迫对叶绿素总量的影响 叶绿素是绿色植物进行光合作用的主要色素, 叶绿素质量分数与组成同植物光合作用关系密切。干旱胁迫对红秆寒竹的叶绿素总量的影响如表1所示: 叶绿素总量

在干旱胁迫0~30 d间, 由开始 $4.470 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 降到第30天的 $1.676 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 在处理0~30 d中每个观察点上, 前后2次测定的叶绿素总量都有极显著的差异, 这说明在胁迫初中期, 干旱对红秆寒竹叶绿素总量影响很大; 在干旱处理30 d以后及复水后5 d内, 植株保持稳定的叶绿素总量, 说明植株通过一定的自我调节基本适应了干旱胁迫状态。复水后(1~5 d), 叶绿素总量基本保持不变, 可能是叶绿素合成的器官受到一定程度的损害或者合成途径受到阻碍, 以致在短期内难以恢复。

2.2.2 干旱胁迫对叶绿素a和叶绿素b质量分数的影响 由表1可以看出, 叶绿素a和叶绿素b质量分数的变化趋势与叶绿素总量变化一致。在0~30 d内的每个观察点上, 前后2次测定值均有极显著

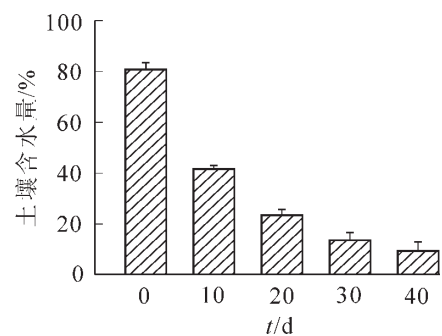


图1 断水后土壤含水量随时间的变化
Figure 1 Change of soil water content with time after not supplying water

表 1 红秆寒竹叶绿素质量分数随干旱时间的变化

Table 1 Changes of chlorophyll content over time under drought stress

处理天数/d	Chl(a + b)/(mg·g ⁻¹)	Chl a/(mg·g ⁻¹)	Chl b/(mg·g ⁻¹)	Chl a/Chl(a + b)
0	4.470 Aa	3.333 Aa	1.137 Aa	0.745 8 Aa
10	3.837 Bb	2.865 Bb	0.972 Bb	0.746 9 Aa
20	2.589 Cc	1.892 Cc	0.697 Cc	0.730 7 Bb
30	1.676 Dd	1.219 Dd	0.458 Dd	0.727 8 Bb
40	1.851 Dd	1.347 Dd	0.504 Dd	0.728 1 Bb
41(复水)	1.831 Dd	1.337 Dd	0.494 Dd	0.730 0 Bb
43(复水)	1.660 Dd	1.214 Dd	0.446 Dd	0.731 2 Bb
45(复水)	1.807 Dd	1.356 Dd	0.450 Dd	0.749 9 Aa

说明：小写字母表示 0.05 显著水平，大写字母表示 0.01 显著水平。

的差异，当叶绿素 a 质量分数降到 1.219 mg·g⁻¹，叶绿素 b 质量分数降到 0.458 mg·g⁻¹ 时，即处理 30 d，土壤含水量降到 13.5% 后，叶绿素 a 和叶绿素 b 质量分数基本稳定，复水后也没有明显的变化。

2.2.3 干旱胁迫对叶绿素 a 与叶绿素总量比值的影响 叶绿素 a 是植物叶绿体中的重要光能吸收色素，占叶绿素总量的 74.58%(表 1)。在自然干旱 10 d，基质含水量为 41.6% 时，虽叶绿素 a 和叶绿素 b 及叶绿素(a + b)都极显著的下降，叶绿素 a/叶绿素(a + b)仍处于稳定的水平，没有显著差异，表明在干旱胁迫初期两者下降幅度一致；在 10 ~ 20 d 阶段，叶绿素 a 降幅超过叶绿素 b 的降幅，叶绿素 a/叶绿素(a + b)发生极显著变化；20 ~ 30 d 阶段，叶绿素 a 与叶绿素(a + b)降幅一致；此后干旱至复水 3 d 时，叶绿素 a/叶绿素(a + b)保持稳定水平，各色素质量分数没有显著变化。复水 5 d 后，叶绿素 a 质量分数增加虽没有达到显著水平，但叶绿素 a/叶绿素(a + b)有了极显著变化，回复到正常水平。

2.3 干旱胁迫对红秆寒竹丙二醛质量摩尔浓度、SOD 活性和 CAT 活性的影响

2.3.1 干旱胁迫对红秆寒竹丙二醛质量摩尔浓度的影响 由表 2 可以看出，随着干旱胁迫增强，红秆寒竹丙二醛质量摩尔浓度不断增加，由 10.23 μmol·g⁻¹ 升至 19.96 μmol·g⁻¹，变化达极显著水平。其中，有 2 个阶段丙二醛质量摩尔浓度保持在稳定水平，在胁迫 10 ~ 20 d 内丙二醛保持在一个稳定水平，在 30 d 时有显著下降，可能是在适度的干旱胁迫下，激活了植物体自身的抗旱调节系统，植物抗旱能力提高；在胁迫 40 d 时，丙二醛质量摩尔浓度达到 19.96 μmol·g⁻¹，增幅极显著，达到较高的水平，以后波动不大，一直处于较高的水平。在复水 5 d 后，丙二醛质量摩尔浓度降至 14.48 μmol·g⁻¹，

表 2 红秆寒竹 MDA 质量摩尔浓度及 SOD 和 CAT 活性随干旱时间的变化

Table 2 Changes of MDA content and SOD and CAT activity over time under drought stress

处理天数/d	MDA/(μmol·g ⁻¹)	SOD/μkat	CAT/μkat
0	10.23 Cd	4.87 Ee	11.83 Cc
10	16.73 Bb	5.57 Dd	15.63 Bb
20	16.55 Bb	9.13 Cc	15.72 Bb
30	14.86 Bc	11.02 Aa	19.97 Aa
40	19.96 Aa	11.38 Aa	20.65 Aa
41(复水)	19.46 Aa	11.87 Aa	19.87 Aa
43(复水)	20.86 Aa	11.50 Aa	21.63 Aa
45(复水)	14.48 Bc	10.35 Bb	21.50 Aa

说明：小写字母表示 0.05 显著水平，大写字母表示 0.01 显著水平。

回复到较低的水平,丙二醛的质量摩尔浓度在短时间内快速降到较低的水平,说明尽管土壤含水量降到9.2%,但持续时间不长时,植株没有受到很严重的破坏,能够在较短时间内恢复正常生长。

2.3.2 干旱胁迫对红秆寒竹 CAT 活性的影响 由表 2 可以看出:在干旱胁迫开始时,红秆寒竹 CAT 活性为 11.83 μkat 。干旱处理 10 d 和 20 d 后, CAT 活性分别达到 15.63 μkat 和 15.72 μkat ,也就是在干旱处理 0~20 d 内, CAT 活性随着时间的增长而增加,并且变化达到了显著性水平;在干旱处理 30 d 时, CAT 活性升至 19.97 μkat ,有极显著的变化,说明当土壤含水量降至 23.3%时,植株体内过氧化氢积累达到了较高水平,自身防御机制发生作用以降低本身受到伤害程度。在干旱处理 30 d 后及复水之后,则少有变化,维持在一个较高且稳定的状态。

2.3.3 干旱胁迫对红秆寒竹 SOD 活性的影响 干旱胁迫对红秆寒竹 SOD 活性影响如表 2 所示。在干旱胁迫下,红秆寒竹的 SOD 活性呈升高的趋势,干旱胁迫 40 d 时红秆寒竹的 SOD 活性是胁迫前的 2.4 倍,达到极显著水平。在干旱胁迫 0~30 d 内,植株 SOD 活性由水分正常状态下时的 4.87 μkat 升至干旱处理 30 d 后的 11.02 μkat ,在每个时间点上测定的 SOD 活性都有极显著的增幅。表明随着干旱胁迫的加强,红秆寒竹体内活性氧增加, SOD 活性迅速提高,清除活性氧。干旱胁迫 30 d 后至复水 3 d, SOD 活性一直维持较为稳定的水平。但在复水 5 d 后, SOD 活性降到 10.35 μkat ,降幅显著。

3 讨论

在干旱处理过程中,红秆寒竹叶绿素总量及叶绿素 a、叶绿素 b 在处理的初中期持续下降,降幅达到极显著水平,这与林树燕等^[3]在平安竹 *Pseudosasa japonica* 'Tsutsumiana', 铺地竹 *Pleioblastus argenteastriatus*, 小佛肚竹 *Bambusa ventricosa* 中研究发现叶绿素呈先上升后下降的结论不尽一致。这可能是与取样时间有关,3 种观赏竹叶绿素高峰出现较早的为铺地竹和小佛肚竹(4 d),最迟为平安竹(8 d),而红秆寒竹第 1 次测定为第 10 天,以后应加大测定密度,以更为准确地分析土壤水分与红秆寒竹叶绿素质量分数变化的关系。叶绿素不仅是植物光合作用的主要色素,也对红秆寒竹的叶色造成影响,从而影响了植株的观赏性。干旱胁迫致使红秆寒竹叶绿素质量分数下降,并在复水后短期难以修复,因此,在红秆寒竹的栽培管理中要注意加强水分的管理,以保持其叶片色泽,保证红秆寒竹的观赏性。

CAT 和 SOD 是植物体内重要的保护酶类。CAT 可促使过氧化氢分解为分子氧和水,清除体内的过氧化氢。水分胁迫下植物的 CAT 和 SOD 活性与抗旱性呈正相关,抗旱性强的品种其活性先升高后下降,而抗旱性弱的品种一直降低^[6-9]。抗旱强的品种较抗旱弱的品种能维持较高的 SOD 和 CAT 活性。在上升阶段,前者比后者 SOD 和 CAT 活性上升幅度要大;在下降区,前者比后者下降要慢一些^[10]。在干旱胁迫下,红秆寒竹 CAT 和 SOD 活性均随着胁迫的加深呈增加的趋势,在处理 30 d 后维持在较高且稳定的水平, CAT 和 SOD 协同作用,很好地避免了红秆寒竹受到活性氧的伤害。

丙二醛是膜脂氧化的主要产物之一,具有很强的细胞毒性。丙二醛的积累与生长量呈负相关^[11]。在胁迫过程中保持相对较低的丙二醛质量摩尔浓度和相对较高的酶活性这与其抗旱性强弱相关^[12]。抗氧化酶活性和丙二醛质量摩尔浓度可作为植物抗旱资源筛选和利用的依据^[13]。丙二醛质量摩尔浓度增幅小的品种对干旱忍耐较强,增幅大的品种耐旱力弱^[14]。红秆寒竹在胁迫前 30 d,土壤含水量已降到 13.48%时, CAT 和 SOD 活性维持在较高且稳定的水平,而丙二醛质量摩尔浓度处于一个较低的水平,表明较高的保护酶活性良好地保护了其叶片细胞膜完整性,红秆寒竹具有较强的耐旱能力。

参考文献:

- [1] 丁雨龙. 观赏竹新品种引进与快速繁育[J]. 林业科技开发, 2002, 16 (3): 13 - 14.
DING Yulong. The introduction and rapid multiplication of new varieties of ornamental bamboos [J]. *China For Sci Technol*, 2002, 16 (3): 13 - 14.
- [2] 耿伯介, 王正平. 中国植物志: 第 9 卷第 1 分册[M]. 北京: 科学出版社, 1996: 328 - 329.
- [3] 林树燕, 丁雨龙. 3 种观赏竹抗旱生理指标的研究及其综合评价[J]. 竹子研究汇刊, 2006, 25 (2): 7 - 9.

- LIN Shuyan, DING Yulong. Researches on indexes of drought resistance of three ornamental bamboo species and corresponding comprehensive evaluation. [J]. *J Bamboo Res*, 2006, **25** (2): 7 - 9.
- [4] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [5] 郝再彬, 苍晶, 徐仲. 植物生理实验[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2004: 113 - 114.
- [6] 王茅雁, 邵世勤, 张建华, 等. 水分胁迫对玉米保护酶系活力及膜系统结构的影响 [J]. 华北农学报, 1995, **10** (2): 43 - 49.
- WANG Maoyan, SHAO Shiqin, ZHANG Jianhua, *et al.* Effect of water stress upon the activities of protective enzyme system and the structures of membrane system in maize [J]. *Acta Agric Boreali-Sin*, 1995, **10** (2): 43 - 49.
- [7] SCANDALIOS J G. Oxygen stress and superoxide dismutases [J]. *Plant Physiol*, 1993, **101**: 7 - 12.
- [8] JIMENEZ C, PICK U. Differential reactivity of b-carotene isomers from *Dunaliella bardawil* toward oxygen radicals [J]. *Plant Physiol*, 1993, **101**: 385 - 390.
- [9] 蒋明义, 杨文英, 徐江, 等. 渗透胁迫诱导水稻幼苗的氧化伤害[J]. 作物学报, 1994, **20** (4): 733 - 738.
- JIANG Mingyi, YANG Wenying, XU Jiang, *et al.* Osmotic stress-induced oxidative injury of rice seedlings [J]. *Acta Agron Sin*, 1994, **20** (4): 733 - 738.
- [10] 周瑞莲, 王刚. 水分胁迫下豌豆保护酶活力变化及脯氨酸积累在其抗旱中的作用[J]. 草业学报, 1997, **6** (4): 39 - 43.
- ZHOU Ruilian, WANG Gang. Water stress induced changes in protective enzyme activities and effects of proline enhancement on drought resistance in pea [J]. *Acta Pratacult Sin*, 1997, **6** (4): 39 - 43.
- [11] 汪耀富, 阎栓年, 于建军, 等. 土壤干旱对烤烟生长的影响及机理研究[J]. 河南农业大学学报, 1994, **28** (3): 250 - 259.
- WANG Yaofu, YAN Shuannian, YU Jianjun, *et al.* Study on the effects of soil drought stress on the growth of flue-cured tobacco and its mechanism [J]. *J Henan Agric Univ*, 1994, **28** (3): 250 - 259.
- [12] 张怡, 罗晓芳, 沈应柏. 土壤逐渐干旱过程中刺槐新品种苗木抗氧化系统的动态变化[J]. 浙江林学院学报, 2005, **22** (2): 166 - 169.
- ZHANG Yi, LUO Xiaofang, SHEN Yingbai. Dynamic change s of anti-oxidation system in new cultivars of *Robinia pseudoacacia* under gradual drought stress of soil [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2005, **22** (2): 166 - 169.
- [13] 李迎春, 樊卫国, 陈双林. 干旱胁迫对梨属 4 个重要种幼苗膜脂过氧化和抗氧化酶活性的影响[J]. 浙江林学院学报, 2008, **25** (4): 437 - 441.
- LI Yingchun, FAN Weiguo, CHEN Shuanglin. Soil drought stress on embrane-lipid peroxidation and antioxidant enzymes in pear rootstock [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2008, **25** (4): 437 - 441.
- [14] 李雪莲, 张国芳, 谷艳蓉, 等. 4 种多年生禾草苗期抗旱性比较研究[J]. 四川草原, 2005 (1): 13 - 15.
- LI Xuelian, ZHANG Guofang, GU Yanrong, *et al.* Comparison about drought tolerance of four perennial forages during seedling [J]. *J Sichuan Grassl*, 2005 (1): 13 - 15.