

皂角苗木对干旱胁迫的生理生化反应

李 燕^{1,2}, 孙明高¹, 孔艳菊¹, 薛 立²

(1 山东农业大学 林学院, 山东 泰安 271000 2 华南农业大学 林学院, 广东 广州 510642)

摘要: 对皂角 *Gleditsia sinensis* 的一年生实生苗进行盆栽控水干旱处理, 并测定皂角的各个生理生化指标. 结果表明: 随着干旱胁迫的增强, 超氧化物歧化酶 (SOD) 活性呈现先降后升; 过氧化氢酶 (CAT) 活性、过氧化物酶 (POD) 活性、脯氨酸含量、可溶性糖含量及丙二醛 (MDA) 含量均表现为先升后降的趋势; 苗木的可溶性蛋白含量及相对电导率随干旱胁迫强度的增加而增加. 在干旱胁迫下, POD 活性与 CAT 活性及脯氨酸含量、可溶性糖含量与脯氨酸含量的关系密切. 在轻度干旱胁迫下, 皂角表现出一定的抗旱性, 可能与 POD、CAT 活性和渗透调节物质的影响有关.

关键词: 皂角; 生理生化特性; 干旱胁迫

中图分类号: S718.43

文献标识码: A

文章编号: 1001-411X(2006)03-0066-04

Physiological and Biochemical Responses of *Gleditsia sinensis* Seedlings to Drought Stress

LI Yan^{1,2}, SUN Ming-gao¹, KONG Yan-ju¹, XUE Li²

(1 College of forestry, Shandong Agric. Univ., Tai'an 271000, China;

2 College of forestry, South China Agric. Univ., Guangzhou 510642, China)

Abstract One-year old seedlings of *Gleditsia sinensis* were studied under drought stress condition in order to evaluate their physiological and biochemical characteristics. With the increase of intensity of drought stress, SOD activity decreased and then increased, the activities of CAT and POD, proline content, the content of soluble sugar and MDA content showed an increase and then-decrease trend, whereas soluble protein content and relative conductance rate kept a continual increasing trend. Under drought stress condition, POD activity was closely related to CAT activity and proline content. The content of soluble sugar was closely related to proline content. Under light drought stress condition, seedlings of *Gleditsia sinensis* showed up certain resistance to drought which was probably affected by POD, CAT and osmotic adjustment substances.

Key words *Gleditsia sinensis*; physiological and biochemical characteristics; drought stress

近年来,随着全球气候变暖,土地沙漠化和水资源短缺已成为当今世界极为严重的生态环境问题,也是一个突出的社会经济问题^[1-3]. 林业生产中普遍存在着因水分亏缺而产生的造林成活率和人工林生产力低下等问题^[4]. 国内外学者对树木的干旱生理进行了大量的研究,例如,阎秀峰等^[5]对 3 年生红松 *Pinus koraiensis* 幼苗进行土壤自然干旱处理,发现超氧化物歧化酶 (SOD) 和过氧化氢酶 (CAT) 在 4 d 的自然干旱胁迫中,活性持续升高,过氧化物酶 (POD)

活性前 2 d 升高,然后下降. 孙国荣等^[6]对白桦 *Betula platyphylla* 一年生实生苗进行自然干旱研究,发现在适度胁迫下, SOD 活性升高,而在重度胁迫时, SOD 活性显著下降,而 CAT 和 POD 在胁迫前期活性均下降,在后期仅 CAT 活性上升. Bajji 等^[7]在干旱条件下发现滨藜 *Atriplex halimus* 中脯氨酸含量的增加在叶中较显著,对根没有显著影响. 也有研究发现,根脯氨酸增加的幅度比茎叶中都大,这可能是植物对干旱的一种保护性反应^[8]. Sofu 等^[9]研究发现,

收稿日期: 2004-12-23

作者简介: 李 燕 (1981-), 女, 华南农业大学硕士研究生; 通讯作者: 孙明高 (1951-), 男, 教授, E-mail: mgsun@sdau.edu.cn

基金项目: 山东省科技厅资助项目 (鲁科农 2001-500)

经过一段时间的水分胁迫之后, 恢复灌溉期间的植物体内丙二醛 (MDA) 含量下降。皂角 *Gleditsia sinensis* 是北方的重要造林树种, 但鲜见其抗旱机理的报道。本试验采用盆栽法研究皂角在干旱胁迫条件下的一些生理生化特性, 探讨其抗旱机理, 以便为干旱地区造林树种的选择提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验设计

2004 年 2 月 28 日将一年生皂角实生苗栽于高度 29 cm、口径 30 cm 装有褐土的试验盆中, 3 次重复。2004 年 5 月 27 日移入塑料防雨棚下以防止天然降水的进入, 正常浇水达对照的土壤含水量, 以保证各盆水分状况的一致性。采用不浇水自然干旱方式进行胁迫试验。以正常浇水第 1、5、10 d 的苗木各生理指标平均值为对照, 在胁迫处理的第 1、5 (轻度干旱) 和 10 d (重度干旱) 分别从苗木中部取生长健壮的叶片, 用冰壶带回实验室测定。采样时间为上午 8:00 时。采用烘干法测定土壤质量含水量 (土壤水质量占土壤干质量的百分比)。

1.2 测定方法

SOD 活性测定采用氮蓝四唑 (NBT) 光化还原抑制法, 以抑制 NBT 光化还原的 50% 为 1 个酶活性单位 (U)^[10]。CAT 活性测定采用高锰酸钾滴定法, 酶活性用每克鲜质量样品 1 min 内分解过氧化氢的质量 (mg) 表示^[11]。POD 活性测定采用愈创木酚法, 以每分钟内 470 nm 下的光密度 ($D_{470\text{ nm}}$) 变化 0.01 为 1 个 POD 活性单位 (U)^[11]。脯氨酸含量的测定采用茚三酮法; 可溶性蛋白含量的测定采用考马斯亮蓝 G-

250 染色法; 可溶性糖含量的测定采用蒽酮比色法^[11]。MDA 含量的测定采用双组分分光光度法, 细胞膜透性采用电导仪法^[11]。

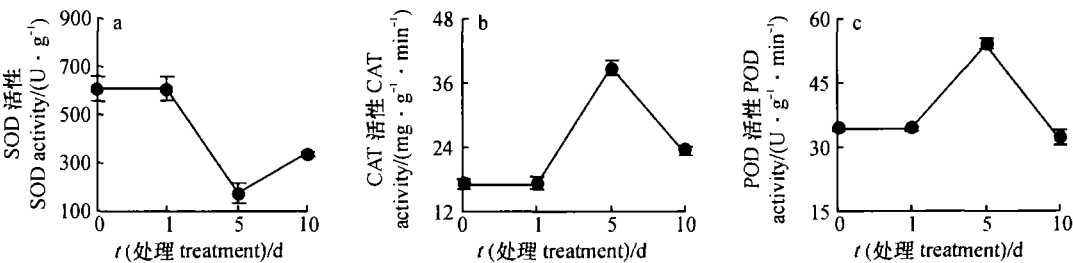
2 结果与分析

2.1 土壤含水量变化

对照及处理第 1、5、10 d 的土壤质量含水量分别为: $(14.85 \pm 2.51)\%$ 、 $(14.45 \pm 2.07)\%$ 、 $(12.61 \pm 5.01)\%$ 和 $(4.78 \pm 1.29)\%$ 。随干旱胁迫时间的增加, 土壤质量含水量下降。

2.2 保护酶活性的变化

在水分胁迫下, 细胞内自由基代谢平衡失调而产生过剩的活性氧自由基, 会引发或加剧膜脂质过氧化, 造成细胞膜系统损伤, 膜透性增加^[12]。SOD、CAT 和 POD 是植物组织防御系统中的重要保护酶, 可以消除细胞内活性氧对细胞膜的伤害, 减少膜脂质过氧化, 稳定膜透性。皂角处理的 SOD 活性在第 1 d 与对照无显著差异, 而第 5、10 d 极显著低于对照 ($P < 0.01$), 分别比对照减少了 70.61% 和 44.17%。处理的 SOD 活性先降后升 (图 1a)。皂角处理的 CAT 活性在第 1 d 与对照无显著差异, 第 5、10 d 极显著高于对照 ($P < 0.01$), 分别比对照增加了 129.41% 和 35.29%。随着干旱胁迫程度的加强, 处理的 CAT 活性是先升后降 (图 1b)。皂角的 POD 活性在第 1、10 d 处理与对照无显著差异, 第 5 d 处理极显著高于对照 ($P < 0.01$), 比对照增加了 58.82%。随着干旱胁迫程度的增加, 处理的 POD 活性先升后降 (图 1c)。可见, 在轻度干旱胁迫下, 皂角的 CAT 和 POD 活性升高, 以此减少胁迫的伤害。



0 d 为对照 (正常浇水条件下第 1、5、10 d 测得指标的平均值)
0 d is the control (the average of values on the 1st 5th and 10th day under regular irrigation)

图 1 干旱处理后皂角叶片 SOD、CAT 和 POD 活性变化

Fig 1 Changes in SOD, CAT, POD activities of *Gleditsia sinensis* under drought stress

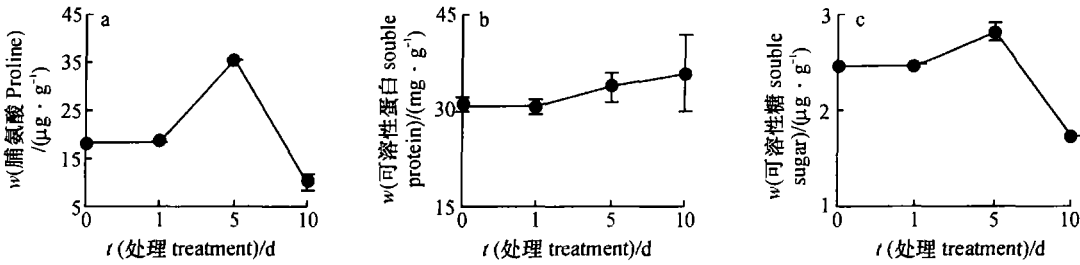
2.3 渗透调节物质的变化

皂角处理第 1 d 的脯氨酸含量与对照无显著差异, 第 5 d 的脯氨酸含量极显著高于对照 ($P < 0.01$), 比对照增加了 90.81%, 第 10 d 的脯氨酸含量极显著低于对照 ($P < 0.01$), 比对照减少了

45.95%, 在干旱胁迫下, 处理的脯氨酸含量先增后减 (图 2a)。皂角脯氨酸含量的变化在一定程度上反映了脯氨酸在干旱胁迫下消除作用的发挥。由图 2b 可见, 处理的可溶性蛋白含量随着干旱胁迫强度的增加而略有增加, 但各处理与对照均无显著差异。可

溶性糖含量在第 1 d 的处理与对照无显著差异, 第 5 d 的处理显著高于对照 ($P<0.05$), 比对照增加了 14.63%, 第 10 d 的处理极显著低于对照 ($P<0.01$), 比对照减少了 30.08%, 如图 2c 所示, 处理的可溶性糖含量随着胁迫强度的增加先增后减, 说明

苗木受轻度干旱胁迫时, 叶片中的可溶性糖可能与可溶性蛋白协同作用, 防止细胞脱水和细胞质结晶, 此过程中可溶性糖含量增加, 而在受到重度干旱胁迫时, 苗木的渗透调节功能下降, 表现为可溶性糖含量减少。



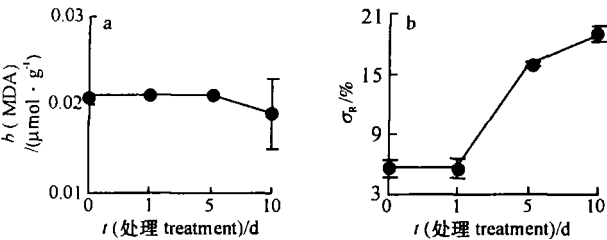
0 d 为对照 (正常浇水条件下第 1、5、10 d 测得指标的平均值)
0 d is the control (the average of values on the 1st, 5th and 10th day under regular irrigation)

图 2 干旱处理后皂角脯氨酸、可溶性蛋白和可溶性糖含量变化

Fig 2 Changes in proline, soluble protein, soluble sugar contents of *Gladiolus sinensis* under drought stress

2.4 MDA 含量和质膜透性的变化

MDA 是脂质过氧化的主要降解产物, 对膜有毒害作用. 它可能与细胞膜上的蛋白质、酶等结合、交联, 使之失活, 破坏生物膜的结构和功能. 第 1、5、10 d 皂角各处理的 MDA 含量与对照无显著差异. 处理的 MDA 含量随着干旱胁迫强度的增加先增后减, 但变化幅度很小 (图 3a). 王霞等^[13]研究发现, 土壤水分胁迫时, 8 种柽柳的 MDA 含量均增加, 但 MDA 含量并非随胁迫程度的加剧而持续增加, 其间 MDA 含量有一个下降过程, 柽柳 MDA 含量的这种变化与 SOD、POD 活性上升有关. 皂角的相对电导率在第 1 d 的处理与对照无显著差异, 第 5、10 d 处理的相对电导率极显著高于对照 ($P<0.01$), 分别比对照增加了 183.93% 和 237.50%. 由图 3b 可见, 随着干旱胁迫强度的增加, 处理的相对电导率急剧增加。



0 d 为对照 (正常浇水条件下第 1、5、10 d 测得指标的平均值)
0 d is the control (the average of values on the 1st, 5th and 10th day under regular irrigation)

图 3 干旱处理后皂角丙二醛 (MDA) 含量和相对电导率变化

Fig 3 Changes in MDA contents, relative conductivity of *Gladiolus sinensis* under drought stress

2.5 皂角 8 个生理生化指标的相关分析

CAT 与 POD 之间呈极显著正相关 ($r=0.948^{**}$, $P<0.01$), POD 与脯氨酸之间呈极显著正相关 ($r=$

0.961^{**} , $P<0.01$), 脯氨酸与可溶性糖之间呈极显著正相关 ($r=0.911^{**}$, $P<0.01$). 说明在研究前期, 苗木发生的一系列生理变化: 叶片中 CAT 活性和 POD 活性升高、脯氨酸含量增加、可溶性糖含量增加是对干旱的适应, 以抵御干旱胁迫的伤害. 皂角保护酶的消除氧自由基伤害的作用和渗透调节作用是同步进行的。

3 讨论与结论

皂角 8 个生理生化指标的变化表现为: (1) 先降后升型, 在干旱胁迫下, SOD 活性呈先降后升; (2) 先升后降型, 随着干旱胁迫强度的增加, CAT 和 POD 活性、脯氨酸和可溶性糖及 MDA 含量均表现出先升后降, 其中 MDA 含量变幅较小; (3) 持续增长型, 苗木的可溶性蛋白含量及相对电导率, 随干旱胁迫强度的增加而增加, 其中可溶性蛋白含量增幅很小。

陈由强等^[14]在对芒果的研究中也发现: 轻度和中度水分胁迫时, SOD、CAT 和 POD 活性均随胁迫强度的增加而提高; 重度水分胁迫时, SOD、CAT 和 POD 活性均出现了下降趋势. 胡景江等^[15]对元宝枫及夏新莉等^[16]对樟子松的研究也得到类似的结果。

脯氨酸是一种细胞亲和溶质, 其水溶性很大, 干旱时具有保水的作用. 这种物质有强的亲水性, 能稳定胶质体组织内的代谢过程, 同时又可以作为氧化还原的活化剂, 能消除植物体内氮积累所造成的毒害. 一般情况下, 干旱胁迫时, 植物体内的脯氨酸会大量积累. 脯氨酸积累有多种积极的生理效应: 在水分亏缺时, 植物的内源脯氨酸可能只有消除作用^[17]; 胡学华等^[18]认为脯氨酸的积累能否作为经济

树木抗旱力鉴定指标要根据具体的树种和品种来定。在对杏、桃、梅^[19]、苹果^[20]、银杏^[21]等树种的研究中发现,在水分胁迫时,它们体内都积累了大量脯氨酸,且抗旱力强的树种比抗旱性弱的增加幅度大。

随着干旱胁迫强度的增加,CAT活性、POD活性、脯氨酸含量、可溶性糖含量均呈先升后降,因而POD活性与CAT活性及脯氨酸含量,可溶性糖含量与脯氨酸含量关系密切。

在轻度干旱胁迫下,皂角的CAT、POD等活性上升,渗透调节物质增加,而受到重度干旱胁迫时,其保护酶活性下降,已有部分渗透调节物质开始下降(如脯氨酸及可溶性糖),可是MDA含量略微减少说明膜透性变化不大。这是由于膜透性的变化滞后于保护酶、渗透调节物质的作用。如果胁迫时间继续增加,随着保护酶、渗透调节等功能的持续减弱,膜透性将呈上升趋势和受到不可逆转的伤害。

从试验结果可以看出,不同的生理生化指标在反映同一植物的抗逆性表现时可能会有所不同,因此需将生理指标结果与实际观察结果结合起来分析,才能对植物的抗逆性作出正确客观的评价^[22]。

目前,还没有一个单一的指标能完全准确地衡量某一树种的抗旱能力,也不能够将某一个指标和抗旱能力之间用一个确定的数量相关关系来表示。抗旱能力的强弱只是一个定性指标而不是一个定量指标,因此评价林木的抗旱性,应该采用多个指标,并用数学的方法进行统计分析和综合评价,这样得出的结果才具有科学性和说服力。

参考文献:

[1] CARUSO A, MORABITO D, DEIMOTTE E, et al. Dehydrin induction during drought and osmotic stress in *Populus* [J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2002, 40: 1 033-1 042.

[2] CHARTZOULAKIS K, PATAKAS A, KOFIDES G, et al. Water stress affects leaf anatomy, gas exchange, water relations and growth of two avocado cultivars [J]. Science Horticulturae, 2002, 95: 39-50.

[3] LIMA A L S, DAMATTA F M, PINHEIRO H A, et al. Photochemical responses and oxidative stress in two clones of *Coffea canephora* under water deficit conditions [J]. Environmental and Experimental Botany, 2002, 47: 239-247.

[4] 余新晓, 张建军, 朱金兆. 黄土地区防护林生态系统土壤水分条件的分析与评价 [J]. 林业科学, 1996, 32(4): 289-296.

[5] 阎秀峰, 李晶, 祖元刚. 干旱胁迫对红松幼苗保护酶活性及脂质过氧化作用的影响 [J]. 生态学报, 1999

19(6): 850-854.

[6] 孙国荣, 彭永臻, 阎秀峰, 等. 干旱胁迫对白桦实生苗保护酶及脂质过氧化作用的影响 [J]. 林业科学, 2003, 39(1): 165-167.

[7] BAJJI M, KINET J M, LUTTS S. Salt stress effects on root and leaves of *Atriplex halimus* L. and their corresponding callus cultures [J]. Plant Science, 1998, 137(2): 131-142.

[8] ARNDT S K, CLIFFORD S G, WANEK W, et al. Physiological and morphological adaptation of the fruit tree *Ziziphus rotundifolia* in response to progressive drought stress [J]. Tree Physiology, 2001, 21: 705-715.

[9] SOFO A, DICHIO B, XILOYANNIS C, et al. Effects of different irradiance levels on some antioxidant enzymes and on malondialdehyde content during rewatering in olive tree [J]. Plant Science, 2004, 166: 293-302.

[10] 王爱国, 罗广华, 邵从本, 等. 大豆种子超氧化物歧化酶的研究 [J]. 植物生理学报, 1983, 9(9): 77-83.

[11] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社出版, 2001: 164-263.

[12] 李吉跃, 张建国. 干旱胁迫对针叶树苗木呼吸的影响 [J]. 林业科技通讯, 1994(2): 8-9.

[13] 王霞, 侯平, 尹林克, 等. 土壤水分胁迫对桉柳体内膜保护酶及脂质过氧化的影响 [J]. 干旱区研究, 2002, 19(3): 17-20.

[14] 陈由强, 朱锦懋, 叶冰莹. 水分胁迫对芒果 (*Mangifera indica* L.) 幼叶细胞活性氧伤害的影响 [J]. 生命科学, 2000, 4(1): 60-64.

[15] 胡景江, 顾振瑜, 文建雷, 等. 水分胁迫对元宝枫膜脂过氧化作用的影响 [J]. 西北林学院学报, 1999, 14(2): 7-11.

[16] 夏新莉, 郑彩霞, 尹伟伦. 土壤干旱胁迫对樟子松针叶膜脂过氧化、膜脂成分和乙烯释放的影响 [J]. 林业科学, 2000, 36(3): 8-12.

[17] 刘学师, 任小林, 苗卫东, 等. 游离脯氨酸与植物抗旱性 [J]. 河南职业技术学院学报, 2002, 30(3): 35-37.

[18] 胡学华, 肖千文, 蒲光兰, 等. 经济树木抗旱研究进展 [J]. 经济林研究, 2004, 22(4): 82-86.

[19] 陆爱华, 褚孟娜. 水分胁迫后梅杏桃脯氨酸脱落酸的累积及其与抗旱性的关系 [J]. 南京农业大学学报, 1989, 12(3): 29-32.

[20] 杨洪强, 黄天栋. 水分胁迫对苹果新根多胺和脯氨酸含量的影响 [J]. 园艺学报, 1994, 21(3): 295-296.

[21] 陈颖, 谢寅峰, 沈慧娟, 等. 银杏幼苗对水分胁迫的生理响应 [J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2002, 26(2): 55-58.

[22] 史燕山, 骆建霞, 王煦, 等. 5种草本地被植物抗旱性研究 [J]. 西北农林科技大学学报, 2005, 33(5): 130-134.

【责任编辑 李晓卉】