

干旱胁迫对 4 种灌木生理生化特性的影响

于金慧^{1,2}, 柏明娥², 方伟¹, 洪利兴²

(1. 浙江林学院 林业与生物技术学院, 浙江 临安 311300; 2. 浙江省林业科学研究院, 浙江 杭州 310023)

摘要: 采用自然干旱方式, 对美丽胡枝子 *Lespedeza formosa*, 马棘 *Indigofera pseudotinctoria*, 伞房决明 *Cassia corymbosa* 和紫穗槐 *Amorpha fruticosa* 等 4 种灌木进行干旱胁迫条件下的抗氧化酶(超氧化物歧化酶 SOD 和过氧化物酶 POD)活性、脯氨酸(Pro)质量分数和丙二醛(MDA)质量摩尔浓度的影响试验。结果表明: 在土壤相对含水量逐渐下降的过程中, 美丽胡枝子和马棘的 SOD 活性初期变化较小, 后期迅速上升, 复水后有所下降。伞房决明和紫穗槐则是初期上升至最大值后下降, 复水后小幅上升; POD 活性总体上均呈先升后降复水后上升的变化趋势, 但不同植物的 POD 活性大小存在一定差异; MDA 质量摩尔浓度在胁迫初期下降, 随胁迫程度的加剧, 逐渐上升, 复水后又下降; Pro 质量分数在胁迫期间上升、复水后下降, 美丽胡枝子变化幅度最大, 伞房决明变幅最小。干旱胁迫引起了美丽胡枝子等 4 种灌木植物体内生理生化物质含量的变化, 但不同植物的变化趋势不尽相同, 受植物体内物质的综合调控, 其抗旱机制存在一定差异, 相比之下伞房决明的抗旱能力较强。图 5 参 10

关键词: 植物学; 干旱胁迫; 美丽胡枝子; 马棘; 伞房决明; 紫穗槐

中图分类号: S718.43

文献标志码: A

文章编号: 1000-5692(2009)04-0485-05

Physiological and biochemical substances of four shrubs with drought stress

YU Jin-hui^{1,2}, BAI Ming-e², FANG Wei¹, HONG Li-xing²

(1. School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. Zhejiang Forestry Academy, Hangzhou 310023, Zhejiang, China)

Abstract: Four shrubs, *Lespedeza formosa*, *Indigofera pseudotinctoria*, *Cassia corymbosa*, *Amorpha fruticosa*, were studied with natural drought stress (no watering) of four lasting drought stages and subsequent watering, in regards to antioxidant enzyme activity, proline (Pro) content and malondialdehyde (MDA) content. The control was seedlings with normal watering. Thirty seedlings of each shrubs were randomly arranged with three replications. Physical indexes were determined every seven days. The results showed that superoxide dismutase (SOD) activity of *L. formosa* and *I. pseudotinctoria* had a significant increase ($P < 0.05$) at the end of the drought stress, and decreased significantly ($P < 0.05$) after watering again. Meanwhile, *C. corymbosa* and *A. fruticosa* rose sharply with significant difference ($P < 0.05$) then continually decreased significantly ($P < 0.05$), and after watering again, the former decreased insignificantly while the later increased significantly; changes for peroxidase (POD) activity of the four shrubs almost followed a same trend, that is, after increasing, there was a significant decrease ($P < 0.05$), then increased distinctly after watering again. Pro content kept significant increase ($P < 0.05$) while decreased significantly ($P < 0.05$) after watering again with the most extent of *L. formosa* and the least of *C. corymbosa*. MDA content decreased indistinctively and then increased significantly ($P < 0.05$) before undergoing a significant

收稿日期: 2008-10-15; 修回日期: 2009-03-15

基金项目: 浙江省科技计划面上项目(2007C22070); 浙江省科技计划院所专项(2007F10002)

作者简介: 于金慧, 从事森林培育研究。E-mail: faith_2002@163.com。通信作者: 洪利兴, 研究员, 从事植物生态与栽培及生态修复等研究。E-mail: honglixing1@163.com

decrease ($P < 0.05$) after watering again. Overall, changes in biochemical substances of the four shrubs with drought stress differed due to plant material itself and *C. corymbosa* exhibiting the best resistance to drought by comprehensive analysis. [Ch, 5 fig. 10 ref.]

Key words: botany; natural drought stress; *Lespedeza formosa*; *Indigofera pseudotinctoria*; *Cassia corymbosa*; *Amorpha fruticosa*

在对废弃矿山和高速公路边坡正在进行绿化治理中, 采用客土喷播方法成为受损山体岩石边坡绿化的主要手段。由于岩石边坡特殊的立地条件, 喷播的绿化植物材料需具备较强的抗逆性。美丽胡枝子 *Lespedeza formosa*, 马棘 *Indigofera pseudotinctoria*, 伞房决明 *Cassia corymbosa* 和紫穗槐 *Amorpha fruticosa* 等植物在边坡绿化上大量应用, 表现出很强的生态适应性, 取得了较好的绿化效果。本研究探讨了这 4 种灌木苗期在水分胁迫条件下超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化物酶(POD)活性、脯氨酸(Pro)质量分数、丙二醛(MDA)质量摩尔浓度等的变化规律, 并分析了这些变化与其抗旱性的可能关系, 以阐明这 4 种植物材料抗旱的生理生化机制, 也为选择其他抗旱植物种类提供科学的理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料和处理

美丽胡枝子和伞房决明种子于 2007 年 11 月采自浙江杭州萧山基地, 马棘和紫穗槐种子于 2007 年 11 月采自浙江湖州堂子山基地。于 2008 年 3 月采用播种育苗, 待 6 月选取长势相同的植株移入盆中。盆直径为 33 cm, 高 26 cm。栽培土壤以黄泥土: 泥炭土按 4: 1 的质量比例配制, 土壤的田间持水量为 59.6%, 碱解氮 $414.49 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 全氮 $0.86 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 有效磷 $34.43 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 全磷 $0.29 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 有机质 $196.47 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, pH 4.6。栽 2 株/盆⁻¹, 在露天精心养护的基础上, 于 8 月初移入塑料大棚内。每种 30 盆, 分 2 组 (每组 15 盆) 分别同时进行自然干旱和正常浇水处理。干旱胁迫处理的后期进行复水。以正常浇水为对照 (I, ck), 分别在干旱处理的 7 d (II), 14 d (III), 21 d (IV), 28 d (V) 和复水后 7 d (VI, 复水处理于干旱胁迫 28 d 后进行) 采样。采用混合采样法剪取植物功能叶片, 液氮处理后带回实验室进行各项指标测定, 每项指标重复测定 3 次。

1.2 测定方法

1.2.1 土壤相对含水量测定 采用烘干法测定土壤绝对含水量。

$$\text{土壤相对含水量} = \frac{\text{土壤绝对含水量}}{\text{土壤田间持水量}} \times 100\%。$$

1.2.2 各生理指标的测定 SOD 活性测定采用氮蓝四唑(NBT)光还原法, 以抑制 50%NBT 反应为一个酶活性单位。POD 活性测定采用愈创木酚法, 以每分钟内吸光度变化 0.01 为 1 个酶活性单位。MDA 质量摩尔浓度测定采用 TBA 法。Pro 质量分数测定采用磺基水杨酸法。

1.2.3 数据处理及分析方法 试验数据采用 Excel 2003 绘制图表, SPSS 16.0 进行方差分析, 最小显著差数法(LSD)多重比较分析。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫下土壤相对含水量的变化

由图 1 看出, 4 种灌木栽培土壤的水分状况变化基本一致。未胁迫时期, 土壤含水量为田间持水量的 72.9% ~ 75.2%, 胁迫 7 d 土壤水分含量下降幅度较大, 之后趋于平缓, 至后期下降到田间持水量的 23.1% ~ 26.4%, 复水后土壤含水量升至田间持水量的 73.5% ~ 87.3%。

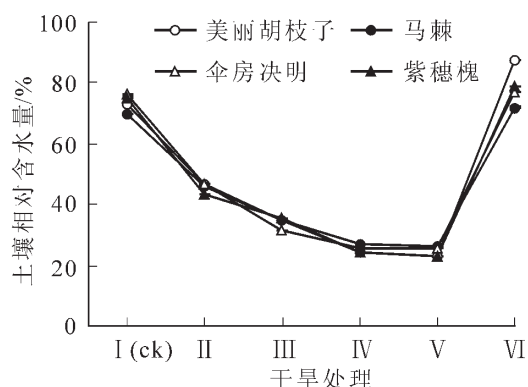


图 1 自然干旱胁迫下土壤相对含水量的变化趋势
Figure 1 Change trend of relative soil water content under natural drought stress

2.2 干旱胁迫对抗氧化酶的影响

2.2.1 干旱胁迫对 SOD 的影响 SOD 组成了细胞体内第 1 条抗氧化防线，它能催化 O_2^- (超氧阴离子) 发生歧化反应生成 O_2 和 H_2O_2 。由图 2 可以看出，美丽胡枝子和马棘的 SOD 活性在干旱胁迫期总体上呈缓慢上升，复水后下降的变化趋势，而伞房决明和紫穗槐呈先升后降复水后上升的变化趋势，在胁迫的第 7 天 SOD 活性达到最大值后开始下降。说明干旱胁迫条件下 SOD 活性对调节植物适应干旱的内在机制因植物种类而异。胁迫初期，美丽胡枝子和马棘的 SOD 活性较低，与对照无显著差异；胁迫后期伴随体内超氧阴离子的大量积累，诱导 SOD 活性上升并明显高于对照，复水后植株恢复，SOD 活性有所下降，但仍显著高于对照。伞房决明和紫穗槐则是在初期表现出较高的 SOD 活性，以抵御活性氧对植株膜系统产生伤害，在后期(土壤相对含水量为 23.1%~36.3%)活性氧产生量高，导致较低的 SOD 活性，至于干旱末期，两者的 SOD 活性均显著低于对照。复水后，伞房决明的 SOD 活性没有显著变化，而紫穗槐 SOD 活性显著增加，说明伞房决明活性氧积累量可能高于紫穗槐，使得植株恢复后 SOD 活性的恢复能力较差。

2.2.2 干旱胁迫对 POD 活性的影响 POD 也是植物体抗氧化酶系统中重要的酶类。它能协同其他酶类一起清除 H_2O_2 ，起保护和稳定生物膜的作用。由图 3 可知，在干旱胁迫条件下，马棘、伞房决明和紫穗槐的 POD 活性总体上均呈先升后降，复水后再次上升的变化趋势。其中，马棘和伞房决明的 POD 活性于胁迫中后期显著高于对照，峰值出现在胁迫的第 21 天，复水后又显著上升。紫穗槐在处理各阶段的 POD 活性均显著高于对照。而美丽胡枝子在胁迫后期明显高于对照，复水后仍显著增加。总体来看，4 种植物的 POD 活性存在较大差异，不论胁迫条件下变化趋势如何，POD 活性始终保持伞房决明>紫穗槐>马棘>美丽胡枝子。保护酶活性高，其清除活性氧的能力强^[1]，因此，从 POD 保护酶单因子判断，伞房决明和紫穗槐的抗旱能力可能高于马棘和美丽胡枝子。

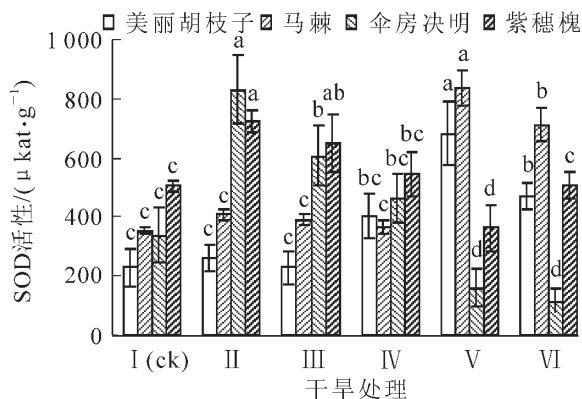


图 2 干旱胁迫及复水对 4 种植物叶内 SOD 活性的影响

Figure 2 Effects to SOD activity in leaf under drought stress and rewater

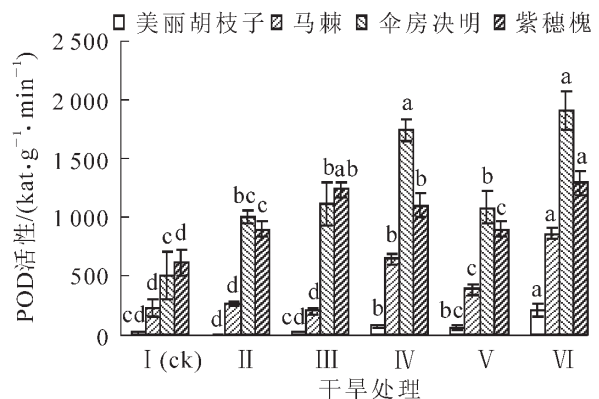


图 3 干旱胁迫及复水对 4 种植物叶内 POD 活性的影响

Figure 3 Effects to POD activity in leaf under drought stress and rewater

2.3 干旱胁迫对 MDA 质量摩尔浓度的影响

MDA 是膜脂过氧化作用的最终产物，可与酶结合、交联使之失活从而破坏生物膜的结构与功能。通常用于表示细胞膜脂过氧化程度和植物对逆境条件反应的强弱，是膜系统受伤害的重要标志之一^[1-4]。由图 4 可看出，随干旱胁迫强度的增加，各植物 MDA 质量摩尔浓度呈先降后升，复水后又下降的变化趋势。美丽胡枝子、马棘和紫穗槐叶片的 MDA 质量摩尔浓度在胁迫初期与对照无显著差异，此后持续显著增加。而伞房决明则持续明显下降直到胁迫末期有较大升幅。说明在轻度干旱胁迫下，植物体内的保护机制开始启动，对膜脂过氧化物的清除力度较大，使 MDA 质量摩尔浓度下降，美丽胡枝子、马棘、伞房决明和紫穗槐下降幅度分别为 3.1%、10.7%、39.8%和 26.3%，其中，伞房决明体内的保护系统对膜脂过氧化物清除能力较强，将 MDA 质量摩尔浓度维持在较低水平上的时间最长。在

中度和重度干旱时,MDA 质量摩尔浓度大幅度增加,说明此时组织保护能力逐渐减弱,叶内细胞膜系统受到不同程度的损坏,导致植物体内 MDA 大量积累。复水后,MDA 质量摩尔浓度较胁迫后期有所下降,其中美丽胡枝子、马棘和紫穗槐内 MDA 仍显著高于对照,伞房决明显著低于对照,说明复水后植物体内膜脂过氧化程度有所减缓,伞房决明清除 MDA 的能力最强,自我修复程度最好。

2.4 干旱胁迫对 Pro 质量分数的影响

从图 5 中可知,随水分胁迫程度的加剧,各植物叶片内 Pro 逐步升高,复水后又回落,各阶段均显著高于对照。未胁迫时,伞房决明 Pro 质量分数最高为 $77.6 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,美丽胡枝子仅为 $3.6 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。胁迫 14 d 后,美丽胡枝子和紫穗槐 Pro 质量分数上升幅度最大,分别为 1 669.2%和 458.1%。当土壤相对含水量在 28.7%~23.1%时,4 种植物叶片 Pro 质量分数基本保持在相同水平上,直到复水后,各叶片 Pro 质量分数下降,下降幅度差异较大,其中伞房决明下降幅度最小,仅为 27.5%,而美丽胡枝子、马棘和紫穗槐分别为 78.8%,89.5%和 85.8%。方差分析表明,干旱胁迫条件下,4 种植物材料的 Pro 质量分数在各阶段变化差异显著,其中美丽胡枝子变化幅度最大,伞房决明变化幅度最小。

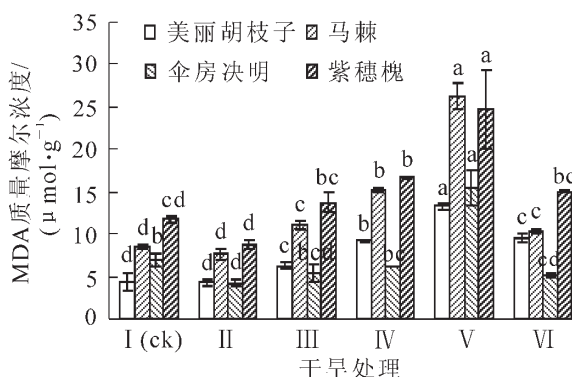


图 4 干旱胁迫及复水对 4 种植物叶内 MDA 质量摩尔浓度的影响

Figure 4 Effects to MDA content in leaf under drought stress and rewater

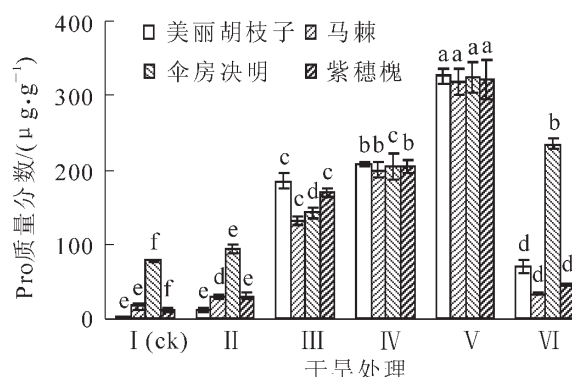


图 5 干旱胁迫及复水对 4 种植物叶内 Pro 质量分数的影响

Figure 5 Effects to Pro content in leaf under drought stress and rewater

3 讨论与结论

在自然干旱的过程中,美丽胡枝子、马棘、伞房决明和紫穗槐盆栽土壤相对含水量的变化趋势基本一致,因此,其生理指标在同一水分胁迫阶段的变化具有可比性。干旱胁迫打破了植物体内活性氧产生与清除的相对平衡状态,引起植物体内活性氧积累,导致细胞伤害现象的发生。众多研究表明,SOD 对植物抗旱性起着关键作用^[3],但不同研究材料的 SOD 活性在干旱胁迫下的变化趋势不尽相同^[4-6]。本次干旱胁迫实验中,4 种植物材料的 SOD 活性呈 2 种变化趋势,伞房决明和紫穗槐的变化较为一致,而美丽胡枝子和马棘则表现为另一种变化趋势,将其归纳为初期抵御型和后期清除型,说明干旱胁迫下 SOD 对植物的保护机制因植物种类不同而存在差异。POD 作为另一种抗氧化酶,在清除植物积累的活性氧方面也起着重要作用。本实验结果显示,伞房决明和紫穗槐始终保持较高的 POD 活性,而马棘和美丽胡枝子则相对较低,但每种植物在干旱胁迫期间都出现了峰值,说明胁迫状态下植物体内 POD 保护酶对体内活性氧的清除能力有一个阈值,在此阈值之内,植株能够提高其体内保护酶活性,加大对活性氧的清除力度,超过此阈值,则保护酶活性下降。植物体内 MDA 质量摩尔浓度与组织自动氧化速率有关。在轻度干旱胁迫时,MDA 质量摩尔浓度下降,可能是因为组织的保护能力增加导致自动氧化速率下降。相比较而言,伞房决明的 MDA 质量摩尔浓度始终处于较低水平,说明干旱胁迫对伞房决明的组织伤害较小,即伞房决明抵御干旱的能力可能较其他树种强。众多研究证明水分胁迫下植物叶片内 Pro 会成倍累积,说明 Pro 在植物抗旱生理中起到了重要作用^[7-9]。本研究结果

表明, 干旱胁迫条件下, 植物叶片内 Pro 大量积累, 复水后则出现不同幅度的下降。干旱初期不同植物 Pro 质量分数各不相同, 而后期却保持基本一致。结合苗木田间表现, 变幅最小的伞房决明较变幅最大的美丽胡枝子抗旱性强, 与向佐湘等^[10]研究结果一致。

干旱胁迫引起了植物体内生理生化物质含量的变化, 但是不同植物种类各物质的变化趋势不尽相同。本研究中的 4 种灌木材料在实际岩石边坡绿化应用中均表现出较强的生活力, 说明不同树种的抗旱机理存在一定差异。植物抗旱能力受植物体内(若干种)物质的综合调控, 应结合其田间表现, 通过多个抗旱指标的综合评价来判定其抗旱性强弱。综合判断, 本实验中伞房决明抗旱能力较强。

参考文献:

- [1] 徐兴友, 王子华, 张凤娟, 等. 干旱胁迫对 6 种野生耐旱花卉幼苗根系保护酶活性及脂质过氧化作用的影响[J]. 林业科学, 2008, **44** (2): 41 – 47.
XU Xingyou, WANG Zihua, ZHANG Fengjuan, *et al.* Effect of drought stress on activities of cell defense enzymes and membrane lipid peroxidation of the roots of six wild flowers[J]. *Sci Silv Sin*, 2008, **44** (2): 41 – 47.
- [2] 陈少裕. 膜脂过氧化对植物细胞的伤害[J]. 植物生理学通讯, 1991, **27** (2): 84 – 90.
CHEN Shaoyu. Injury of membrane lipid peroxidation to plant cell[J]. *Plant Physiol Commun*, 1991, **27** (2): 84 – 90.
- [3] 蒋明义, 郭邵川. 水分亏缺诱导的氧化胁迫和植物的抗氧化作用[J]. 植物生理学通讯, 1996, **32** (2): 144 – 150.
JIANG Mingyi, GUO Shaochuan. Oxidative stress and antioxidation induced by water deficiency in plants [J]. *Plant Physiol Commun*, 1996, **32** (2): 144 – 150.
- [4] 胡景江, 顾振瑜. 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.
HU Jingjiang, GU Zhenyu. Effect of water stress on membrane lipid peroxidation in maple[J]. *J Northwest For Coll*, 1999, **14** (2): 7 – 11.
- [5] 沈秀瑛, 戴俊美, 徐世昌, 等. 干旱对玉米叶中超氧化物歧化酶和过氧化氢酶活性的影响 [J]. 沈阳农业大学学报, 1992, **23** (4): 302 – 307.
SHEN Xiuying, DAI Junmei, XU Shichang, *et al.* Effects of drought on SOD, CAT activities in leaves of maize [J]. *J Shenyang Agric Univ*, 1992, **23** (4): 302 – 307.
- [6] 斯钦巴特尔, 额尔登桑. 不同抗旱品种胡麻苗中脯氨酸累积的差异[J]. 内蒙古师大学报: 自然科学(汉文)版, 1999, **28** (1): 55 – 57.
SECHINBATER, ERDENSAN. The different in proline accumulation between the seedling of two varieties of *Linum usitatissimum* L. with different drought resistance[J]. *J Inner Mongolia Norm Univ Nat Sci Ed*, 1999, **28** (1): 55 – 57.
- [7] 杜金友, 胡冬南, 李伟, 等. 干旱胁迫条件下胡枝子渗透物质的变化[J]. 福建林学院学报, 2006, **26** (4): 349 – 352.
DU Jinyou, HU Dongnan, LI Wei, *et al.* Change of osmolytes in *Lespedeza* under drought stress [J]. *J Fujian Coll For*, 2006, **26** (4): 349 – 352.
- [8] 史玉炜, 王燕凌, 李文兵, 等. 水分胁迫对刚毛柽柳可溶性蛋白、可溶性糖和脯氨酸含量变化的影响[J]. 新疆农业大学学报, 2007, **30** (2): 5 – 8.
SHI Yuwei, WANG Yanling, LI Wenbing, *et al.* Effects of water stress on soluble protein, soluble sugar and proline content in *Tamarix hispida* [J]. *J Xinjiang Agric Univ*, 2007, **30** (2): 5 – 8.
- [9] 蒋明义, 郭邵川, 张学明. 氧化胁迫下稻苗体内积累的脯氨酸的抗氧化作用[J]. 植物生理学报, 1997, **23** (4): 347 – 352.
JIANG Mingyi, GUO Shaochuan, ZHANG Xueming. Proline accumulation in rice seedlings exposed to oxidative stress in relation to antioxidation [J]. *Acta Phytophysiol Sin*, 1997, **23** (4): 347 – 352.
- [10] 向佐湘, 许桂芳, 蒋文君. 干旱胁迫对 4 种刺篱植物抗性生理生化指标的影响[J]. 浙江林学院学报, 2007, **24**(1): 7 – 11.
XIANG Zuoxiang, XU Guifang, JIANG Wenjun. Drought stress on physiological and biochemical processes in four spiny plant species [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2007, **24** (1): 7 – 11.