

北方旱区不同树种抗氧化酶活性变化及与抗旱性的关系

陈吉虎¹, 余新晓^{1*}, 孙明高², 有祥亮², 张长达³, 谢 港⁴

(1. 北京林业大学水土保持学院, 北京 100083; 2. 山东农业大学林学院, 山东 泰安 271018;

3. 山东省水利勘察设计院, 山东 济南 250013; 4. 山东省广饶县林业局, 山东 广饶 257300)

摘要:通过对在干旱胁迫处理下的刺槐(*Robinia pseudoacacia*), 栾树(*Koelreuteria paniculata*), 五角枫(*Acer mono*), 君迁子(*Diospyros lotus*), 苦楝(*Melia azedarach*) 5 个树种的 1 年生幼苗的超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD) 3 种保护酶活性、丙二醛(MDA)含量、叶片相对电导率和树高相对生长速率等生理指标的测定, 结果表明:随着干旱胁迫强度的增加, 5 树种的各生理指标均有不同程度的变化, 保护酶活性和 MDA 及相对电导率不断升高, 相对生长速率则不断下降。其中苦楝的酶系统活性最高, MDA 的含量较低, 相对电导率最小, 受干旱胁迫的影响最小, 从而能维持最高的生长速率, 和其它树种差别显著;君迁子的 3 种保护酶活性和相对生长速率最低, MDA 的含量和相对电导率最高;栾树的 3 种保护酶活性变化不显著, 相对电导率较低及 MDA 的含量最低;刺槐和五角枫的 3 种保护酶活性、MDA 含量、相对电导率和相对生长速率介于苦楝和君迁子两者之间。以树高的相对生长速率作为评价抗旱能力的指标, 则 5 树种的抗旱能力排序为:苦楝>五角枫>栾树>刺槐>君迁子。

关键词:水分胁迫;树种;活性;抗氧化酶;相对生长率

中图分类号: S728.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2006)05-0120-06

干旱是一种常见的自然现象, 近年来很多学者应用生物自由基伤害学说来研究干旱胁迫下膜伤害的机理, 认为在水分胁迫下, 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和膜透性增加, 从而影响植物的生理代谢^[1~3]。植物会动员抗氧化酶性和非酶性的防御系统保护细胞免遭氧化伤害, SOD、POD 和 CAT 是植物组织防御系统中的 3 种重要的抗氧化保护酶, 分别清除超氧阴离子自由基、羟自由基和过氧化氢, 减少胞内的活性氧对细胞膜的伤害、减轻膜质过氧化和稳定膜的透性^[4]。已有研究表明:干旱胁迫下林木的抗旱能力和受到的伤害程度与这些保护酶的活性变化密切相关^[4~8]。五角枫、君迁子、栾树、苦楝和刺槐因生长迅速, 耐干旱瘠薄, 成活率高等特点, 都是北方地区尤其是干旱地区造林的先锋树种, 对于绿化荒山, 增加植被的覆被率, 保持水土, 涵养水源, 改善生态生产条件, 都起着重要的作用^[9]。

本试验通过控水干旱胁迫的方法研究了这 5 个树种的保护酶活性、MDA 和叶片质膜透性以及相对生长率的动态变化的差异, 分析了酶活性与植物抗干旱伤害的关系, 并找出与各树种抗旱性密切相关的保护酶, 深入揭示了 5 个树种在自然环境选择

下形成的独特的抗旱生理特性, 对进一步了解植物的抗旱机理具有重要作用, 同时以树高的相对生长速率为评价抗旱能力大小的标准, 对这些树种的抗旱能力的大小进行了排序, 为今后干旱地区造林树种的选择提供了一定的理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料和干旱处理

本研究以五角枫(*Acer mono*)、君迁子(*Diospyros lotus*)、栾树(*Koelreuteria paniculata*)、苦楝(*Melia azedarach*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*) 这 5 个树种的一年生实生苗为材料。2001 年春季播种, 2001 年 11 月份把幼苗移栽到试验盆中, 瓦盆上口直径 35 cm, 下底直径 25 cm, 高 40 cm。土壤为营养土和土杂肥的混合土, 田间持水量为 33.5%, pH 7.8。每盆栽 1 株, 2002 年 6 月份选择生长一致的苗木, 在干旱处理前充分浇水 3 d, 然后让其自然干旱 15 d。CK: 正常浇水对照, 土壤含水量为 32.6%±1.04%; 处理 I (轻度干旱): 自然干旱 5 d, 土壤含水量为 22.7%±2.33%; 处理 II (中度干旱): 自然干旱 10 d, 土壤含水量为 12.5%±1.92%; 处理 III (重度干旱): 自然干旱 15 d, 土壤含水量为 8.4%±1.13%。

收稿日期: 2006-02-15

基金项目: 国家“十五”攻关计划项目(2001BA510B02-02); 国家 948 项目“旱地生态经济型树种抗性选择及综合利用技术引进”(2003413)

作者简介: 陈吉虎(1977-), 男, 山东聊城人, 博士, 主要从事园林树种抗旱生理研究。

* 通讯作者: 余新晓, E-mail: chenlixuixu_110@163.com。

1.2 测定项目及方法

用 TDR (Time Domain Reflectometry) 测定土壤含水量。超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化氢酶 (CAT)、过氧化物酶 (POD)、丙二醛 (MDA) 含量和叶片相对电导率等指标的测定参照《植物生理生化实验原理和技术》^[10]。用精度为 0.1 cm 的钢卷尺测量不同处理后的各树种的苗高。树高的相对生长率 = 干旱处理中的树高绝对生长量 / 对照的树高绝对生长量。于上午 9:00~10:00 取不同处理各树种的当年新梢的第 5~7 片叶进行测定, 3 次重复。

2 结果与分析

2.1 5 树种的抗旱能力比较

从表 1 可以看出, 随着干旱胁迫强度的增加, 5 树种树高的相对生长率都在下降, 其中苦楝的生长速率下降幅度最小, 15 d 后的树高生长速率为对照的 75.4%; 栾树和五角枫的生长速率下降较小, 干旱 15 d 后分别为对照的 63.4% 和 67.2%; 刺槐和君迁子的生长速率下降比较大, 干旱 15 d 后分别为对照的 59.6% 和 53.5%。这说明, 在干旱胁迫下苦楝所受生理伤害最小, 抗干旱胁迫能力最强; 君迁子所受生理伤害最大, 抗干旱胁迫能力最差。以此作为评价抗旱能力的指标, 则各树种的抗旱能力排序为: 苦楝 > 五角枫 > 栾树 > 刺槐 > 君迁子。

2.2 干旱胁迫下抗氧化酶活性的变化

2.2.1 SOD 活性的变化 由图 1 可知, 随着干旱

胁迫强度的增加, 刺槐、栾树、君迁子和五角枫的 SOD 活性是先升高, 后降低; 而苦楝的 SOD 活性一直升高且变化幅度较小。刺槐、栾树和君迁子在第 5 d 的时候, SOD 活性最高, 分别为对照的 229%、144% 和 223%。

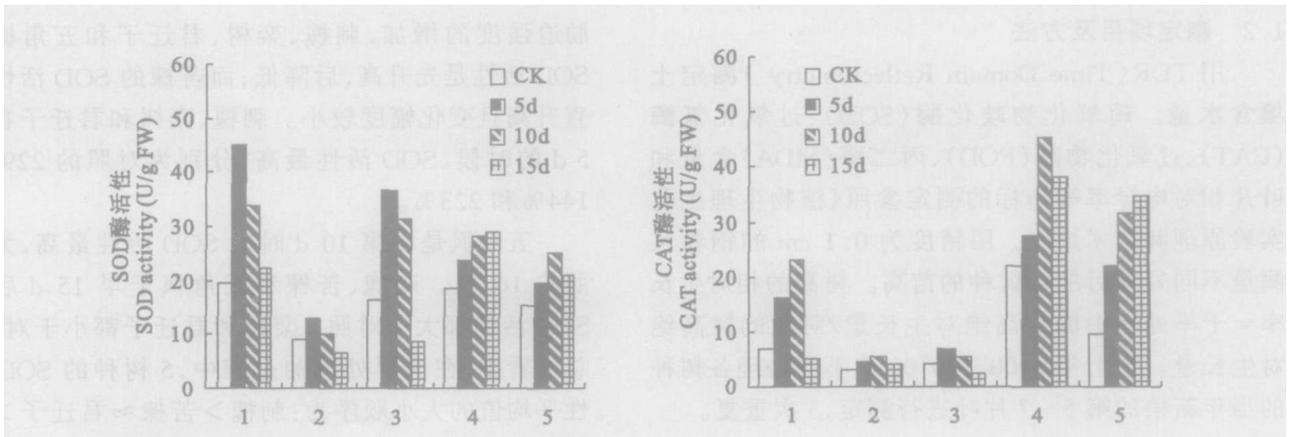
五角枫是在第 10 d 时的 SOD 活性最高, 为对照的 163%。刺槐、苦楝和五角枫干旱 15 d 后的 SOD 活性都大于对照, 栾树和君迁子都小于对照。总的看来, 在干旱处理的过程中, 5 树种的 SOD 活性平均值的大小顺序为: 刺槐 > 苦楝 ≈ 君迁子 > 五角枫 > 栾树; 5 树种的 SOD 活性变化幅度的大小顺序为: 刺槐 ≈ 君迁子 > 苦楝 ≈ 五角枫 > 栾树。

2.2.2 CAT 活性的变化 由图 2 可知, 随着干旱胁迫强度的增加, 五角枫的 CAT 活性不断升高; 其它树种的 CAT 活性都是先升高后降低。刺槐在第 10 d 时候, 为对照的 329%, 在第 15 d 的时候低于对照。栾树的 CAT 活性变化不很明显, 君迁子的活性比较低, 在第 5 d 后的 CAT 活性最高, 为对照的 175%, 然后不断下降。苦楝在 10 d 时候, CAT 的活性大幅度的升高, 为对照的 206%。五角枫干旱 15 d 后的 CAT 活性为对照的 358%。在干旱处理过程中, 5 树种的 CAT 活性的平均值大小顺序为: 苦楝 > 五角枫 > 刺槐 > 栾树 ≈ 君迁子; 5 树种的 CAT 活性变化幅度的大小顺序为: 五角枫 > 刺槐 > 苦楝 > 君迁子 > 栾树。

表 1 5 树种树高的相对生长率

Table 1 The relative growth rate of five tree species

树种 Tree species	胁迫天数 Treatment days (d)	A: 正常浇水的树高的绝对生长量 (cm) The absolute growth of seedlings under natural watering	B: 干旱处理树高的绝对生长量 (cm) The absolute growth of seedlings under drought stress	相对生长率 (B/A) × 100% The relative growth rate
苦楝 <i>M. azedarach</i>	5	7.70	7.30	94.8
	10	13.20	11.50	87.1
	15	20.70	15.60	75.4
刺槐 <i>R. pseudoacacia</i>	5	5.40	4.70	87.0
	10	9.40	7.30	77.7
	15	14.60	8.70	59.6
君迁子 <i>D. lotus</i>	5	4.80	4.10	85.4
	10	10.90	7.80	71.6
	15	15.90	8.50	53.5
五角枫 <i>A. mono</i>	5	6.90	6.10	88.4
	10	13.70	10.90	79.6
	15	19.80	13.30	67.2
栾树 <i>K. paniculata</i>	5	6.90	6.20	89.8
	10	12.30	9.90	80.5
	15	18.60	11.80	63.4



1. 刺槐 *Robinia pseudoacacia* 2. 栾树 *Koelreuteria paniculata* 3. 君迁子 *Diospyros lotus*
4. 苦楝 *Melia azedarach* 5. 五角枫 *Acer mono* 下图同。The same as below.

图 1 干旱处理过程中各树种叶片 SOD 活性的变化

图 2 干旱处理过程中各树种叶片 CAT 活性的变化

Fig. 1 Changes of SOD activity in leaves during drought stress

Fig. 2 Changes of CAT activity in leaves during drought stress

2.2.3 POD 活性的变化 由图 3 可知,随着干旱胁迫强度的增加,刺槐、君迁子、五角枫的 POD 活性是先升高后降低;苦楝持续升高;栾树的 POD 活性持续降低。君迁子干旱 5 d 后的 POD 活性比对照增加了 75%,然后迅速下降;苦楝干旱 15 d 后的 POD 活性最高,为对照的 220%;刺槐、栾树、君迁子的 POD 活性变化幅度较小。干旱 15 d 后,刺槐、栾树、君迁子的 POD 活性都低于对照,苦楝的 POD 活性远高于对照,五角枫与对照差别不明显。总的来看,在干旱处理的过程中,5 树种的 POD 活性平均值的大小顺序为:苦楝>五角枫>刺槐>栾树>君迁子;5 树种的 POD 活性变化幅度的大小顺序为:

苦楝>君迁子>刺槐>栾树>五角枫。

2.3 MDA 含量和相对电导率的变化

当植物器官因干旱胁迫遭受伤害时,其脂质会发生过氧化作用而产生丙二醛,丙二醛会伤害细胞质膜,从而造成细胞内的物质(尤其是电解质)外渗,引起组织浸泡液的电导率增加,所以根据组织浸泡液的相对电导率可以判断膜受损的程度^[2]。

由图 4 可知,随着干旱胁迫强度的加强,各树种的 MDA 的含量逐渐增加,其中君迁子变化幅度最大,五角枫和刺槐变化幅度较大,苦楝和栾树变化相对比较平缓。干旱 15 d 后的 MDA 含量的大小顺序为:君迁子>刺槐>五角枫>苦楝>栾树。

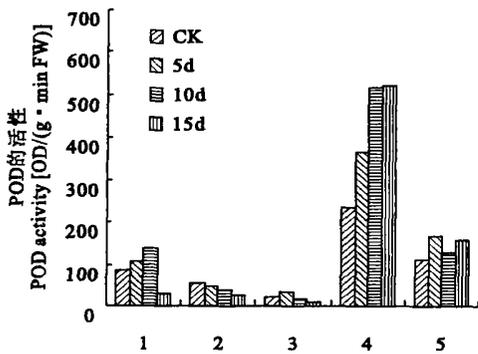


图 3 干旱处理过程中各树种叶片 POD 活性变化

Fig. 3 Changes of POD activity in leaves during drought stress

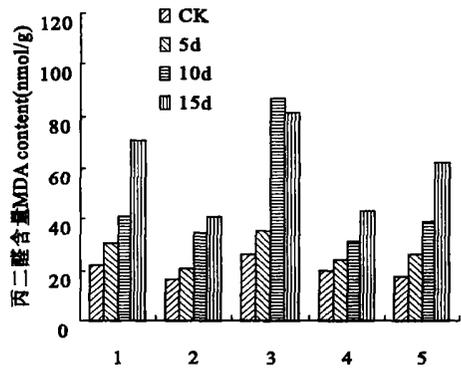


图 4 干旱胁迫下各树种叶片的 MDA 含量变化

Fig. 3 Changes of MDA content in leaves during drought stress

由图 5 可知,随着干旱胁迫强度的增加,5 树种的叶片的相对电导率均有不同程度的增加,其中君迁子、刺槐和五角枫在严重干旱时的 MDA 含量大幅增加,苦楝和栾树变化幅度较小。从干旱 15 d 后

的相对电导率的大小来看,君迁子>刺槐>五角枫>栾树>苦楝。5 树种的相对电导率的变化和 MDA 的含量变化大体一致,两者呈显著正相关关系($R>0.8653^*$)。

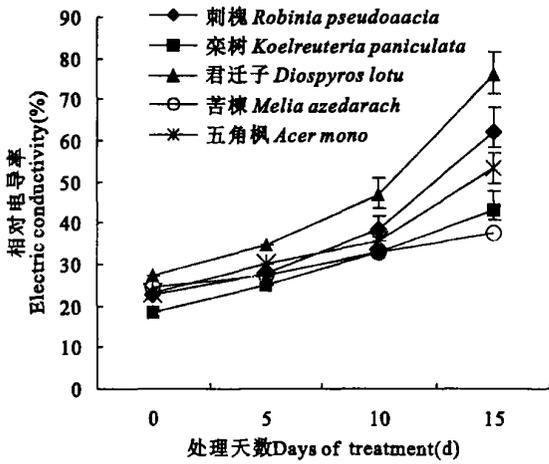


图 5 干旱胁迫下各树种叶片的相对电导率变化

Fig. 3 Changes of MDA content in leaves during drought stress

3 讨论

在正常情况下,植物体内活性氧(O_2^- 、 H_2O_2 、 $\cdot OH$ 及 1O_2)产生和清除处于平衡状态,不会导致细胞伤害^[3,11,12]。在水分胁迫下,植物体内自由基的产生和清除平衡会受到破坏,植物会动员抗氧化酶防御系统保护细胞免遭氧化伤害,保护酶的活性变化因植物品种、胁迫方式、胁迫强度和时间的不同,整个保护酶系统的防御能力的变化取决于几种酶彼此协调的综合结果^[4]。

3.1 保护酶与各树种抗干旱胁迫能力的关系

试验结果表明,干旱胁迫的过程中,在 5 个树种中,苦楝的 SOD 的活性较高,CAT、POD 的活性都最高,而 MDA 生成含量比较小,叶片的相对电导率最小,这说明在受到干旱胁迫时,苦楝的抗氧化保护酶系统的彼此协调的能力最强,防御能力最强,受到干旱胁迫的影响比较小,从而维持了正常的生理代谢,保持了最高的相对生长速率。而君迁子除了 SOD 酶的活性较高以外,CAT 和 POD 酶活性都较低,反映叶片质膜透性伤害的指标 MDA 的含量和叶片的相对电导率都最高,说明在干旱胁迫下,君迁子的抗氧化保护酶系统的防御能力最弱,所受干旱伤害最为严重,所以其相对生长速率最低。五角枫和刺槐的保护酶系统的活性介于两者之间,栾树的这 3 种保护酶的活性都较低,并且变化幅度也较小,但是其 MDA 的含量和叶片的相对电导率都较低,同时也保持了较高的生长速率,这说明对于栾树这个树种,保护酶系统的防御活性氧伤害的作用不占主导地位,可能非酶保护系统如谷胱甘肽、抗坏血酸等在起着主要作用,关于哪种非氧化保护酶在起作用,有待于进一步研究。

3.2 5 树种的抗氧化保护酶之间的关系

在干旱胁迫过程中,除栾树外,其余 4 个树种的 3 种抗氧化保护酶之间都是正相关关系,其中苦楝的 3 种酶之间都是显著的正相关关系($r_{0.05} > 0.8114$),这说明这 4 个树种的 3 种保护酶是协同清除氧自由基伤害的,所以也印证了 3 种保护酶相互协调,共同抵御干旱胁迫造成的膜伤害的观点^[4,11]。5 树种的 SOD 和 CAT 都是正相关关系,其中刺槐、君迁子、苦楝和五角枫显著正相关($r_{0.05} > 0.8114$),这表明植物在抵御干旱伤害的过程中 SOD 和 CAT 之间有着密切的内在联系,这也印证了抗旱性强的树种需要有高活性的 SOD 和 CAT 酶,以清除 H_2O_2 和 O_2^- ,减小对膜系统的伤害的观点^[7],至于这两种酶如何配合、制约、协同和它们的启动机制还有待于进一步研究。

3.3 在干旱胁迫过程中对消除活性氧伤害中起关键性作用的酶

因为栾树的这 3 种酶对于消除氧自由的伤害和保护质膜稳定性的作用不明显,所以在不再分析。

刺槐:在轻度和中度干旱条件下,它的 SOD 活性和 CAT 活性急剧增加,而刺槐的 MDA 含量和相对电导率在相对应的前两个阶段变化不大,树高的相对生长速率降低的比较少。这说明在轻度干旱和中度干旱下,较高的 SOD 和 CAT 活性能够共同作用减少氧自由基对植物细胞膜的伤害。在严重干旱(土壤不足 10%)的条件下,由于胁迫强度超过了刺槐自身调节的承受范围,其 SOD 和 CAT 活性都大幅度降低,MDA 含量和相对电导率都随之急剧增加,树高的相对生长速率大幅度降低了 40.4%。这说明在严重干旱的条件下,氧自由基开始大量累积,严重伤害了细胞质膜引起了电解质大量外渗,刺槐的生理代谢开始紊乱,生长严重受阻。这些都说明在干旱胁迫过程中,高活性的 SOD 和 CAT 对于刺槐减轻氧自由基的伤害和维持正常的生理代谢等方面起着重要的作用。

君迁子:在轻度干旱的条件下,它的 SOD 活性较高,CAT 和 POD 活性都较低,MDA 含量和相对电导率在这一阶段变化幅度较小,树高的相对生长速率为对照的 87%;到严重干旱阶段,SOD 活性降为对照的 59.6%,同时 MDA 含量和相对电导率都急剧上升,树高的相对生长率也急剧下降为对照的 53.5%,这说明在干旱的初期阶段,高的 SOD 活性对于君迁子减轻活性氧的伤害和维持植物正常生长等方面起着一定的作用。

苦楝:在干旱的各个阶段,其 3 种保护酶的活性都比较高,SOD 活性变化比较缓和,CAT 和 POD 随干旱胁迫强度的增加也急剧增加,整个过程中,苦楝的 MDA 含量和相对电导率在此阶段变化比较平缓且数值比较小,相对生长速率分别为对照的 94.8%、87.1%和 75.4%,相对于其它树种变化幅度最小,说明在整个干旱过程中,苦楝受水分胁迫的影响最小,细胞能维持正常的生理功能,植物能够保持正常的生理生长。所以高活性的 CAT 和 POD 对于苦楝消除活性氧和保持植物正常生长等方面起着重要的作用。

五角枫:在干旱过程中,其 SOD 和 POD 变化都比较平缓,而 CAT 活性一直升高并且变化幅度比较大。其 MDA 含量和相对电导率在前两个阶段变化比较平缓,在严重干旱的条件下,出现了较大幅度的增加。在干旱过程中其相对生长速率分别为对照的 88.4%、79.6%和 67.2%,在 5 个树种中仅小于苦楝,这说明五角枫抗旱能力是比较强的,所以高活性的 CAT 对于五角枫消除活性氧的伤害和保持植物正常生长等方面起着重要的作用。

3.4 关于把相对树高生长速率作为抗旱能力评价的指标

目前关于把生长指标作为评价抗旱能力的研究还较少,胡新生^[13]认为植物生长指标如产量、树高、总生物量等,这些指标受水分胁迫影响明显,用这些指标来评价相应品种、无性系等的耐旱能力具有不可替代的作用。王福森等^[14]通过对 6 个杨树新品种抗旱性的研究,以在干旱胁迫下的不同品种的直径和树高的绝对生长量来判断其忍耐干旱胁迫的能力。赖声渭等^[15]认为可选用生长量(高生长、径生长),生物产量,经济产量(种子、果实、叶等)等指标来反应树种的抗旱生产力。Bousslama^[14]对于抗旱能力提出了量化的公式: $DMSI = (DMS/DMC) \times 100\%$; $DPSI = (PHS/PHC) \times 100\%$ (注:DMSI 为干物质胁迫指数,DMS 为胁迫下幼苗干物质重,DMC 为对照幼苗干物质重,DPSI 为株高胁迫指数,PHS 为胁迫下幼苗的株高,PHC 为对照幼苗的株高)。因为本试验研究的 5 个树种的物候期和年生长规律不是完全一致的,用绝对生长量来进行比较是不可取的。本文是用各树种在干旱胁迫的树高的绝对生长量和对照的树高的绝对生长量的比值来作为评价不同树种抗旱能力的,因为对于同一个树种来讲,它的物候期和年生长规律是一致的,一般来讲,受到干

旱胁迫的树种,光合速率会下降,生长速率也会下降。抗干旱胁迫能力强的树种其生长受到的影响较小,生长速率下降较小;而抗干旱能力弱的树种的生长受到的影响较大,生长速率下降也较大^[16]。该指标数值越大,说明该树种抗旱能力越强,反之则抗旱能力越小。所以本文作者用 5 树种在干旱胁迫的树高的绝对生长量和对照的树高的绝对生长量的比值来作为评价这 5 种树种的抗旱能力是可取的。所以本文以树高的相对生长速率作为评价抗旱能力的指标,则 5 个树种的抗旱能力排序为:苦楝>五角枫>栾树>刺槐>君迁子。

参考文献:

- [1] Bousslama M, Schapaugh Jr W T. Stress in soybeans. I. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Sci*, 1984, 24: 933—937.
- [2] 陈少裕. 膜脂过氧化与植物逆境胁迫[J]. 植物学通报, 1989, 6(4): 211—217.
- [3] Elster E F. Oxygen activation and oxygen toxicity[J]. *Ann Rev Plant Physiol*, 1992, 43: 73—96.
- [4] 蒋明义, 郭绍川. 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.
- [5] 李广敏, 唐连顺, 商振清, 等. 渗透胁迫对玉米幼苗保护酶系统的影响及其与抗旱性的关系[J]. 河北农业大学学报, 1994, 17(2): 1—5.
- [6] 池书敏, 李广敏, 史吉平, 等. 玉米抗旱机理研究[J]. 河北农业大学学报, 1997, 20(4): 11—15.
- [7] 彭昌操, 孙中海. 低温锻炼期间柑桔原生质体 SOD 和 CAT 酶活性的变化[J]. 华中农业大学学报, 2000, 19(4): 384—387.
- [8] 孙国荣, 彭永臻, 阎秀峰, 等. 干旱胁迫对白桦实生苗保护酶活性及脂质过氧化作用的影响[J]. 林业科学, 2003, 39(1): 165—167.
- [9] 任宪威. 树木学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1997.
- [10] 李合生. 植物生理生化实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 1999.
- [11] 于同泉, 刘宗萍, 路萍, 等. 水分胁迫小麦 SOD、MDA 动态变化与抗旱性的关系[J]. 北京农学院学报, 1995, 10(1): 22—25.
- [12] Jose A H, Maria A. Antioxidant systems and O_2^-/H_2O_2 production in apoplast of pea leaves. Its relation with salt induced necrotic lesions in minor veins[J]. *Plant Physiology*, 2001, 127: 817—831.
- [13] 胡新生. 树木水分胁迫生理与耐旱性研究进展及展望[J]. 林业科学, 1998, 34(2): 77—89.
- [14] 王福森, 孙惠杰, 温宝阳. 几个杨树新品种抗旱能力与生理反应研究[J]. 防护林科技, 2001, 46(1): 18—24.
- [15] 赖声渭, 曹兵. 浅谈林木抗旱性评价方法[J]. 防护林科技, 2002, 9(3): 48—49.
- [16] 王宝山. 植物生理[M]. 北京: 科技出版社, 2003. 286—288.

Relation between activity of antioxidant enzymes and drought resistance of different tree species in north China

CHEN Ji-hu¹, YU Xin-xiao¹, SUN Ming-gao², YOU Xiang-liang², ZHANG Chang-da³, XIE Gang⁴

(1. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. College of Forestry, Shandong Agriculture University, Tai'an, Shandong 271018, China;

3. Shandong Academy of Hydraulic Engineering Reconnaissance and Design, Jinan, Shandong 250013, China;

4. Guangrao Bureau of Forestry, Guangrao, Shandong 257300, China)

Abstract: The one-year-old seedlings of five tree species (*Robinia pseudoacacia*, *Koelreuteria paniculata*, *Acer mono*, *Diospyros lotus* and *Melia azedarach*) were tested to study their characteristics of drought resistance. The tested physiological indices included the activity of superoxidase dismutase (SOD), the activity of catalase (CAT), the activity of peroxidase (POD), the content of melondialdehyde (MDA), the relative electric conductivity and the relative growth rate of five tree species under drought stress. The results showed that, with the enhancement of drought stress, all the physiological indices of five tree species presented different variations. The activity of protective enzyme, the content of MDA and the relative electric conductivity increased persistently, while the relative growth rate decreased persistently. Among the five tree species, the activity of protective enzymes and relative growth rate of *Melia azedarach* were the highest, the content of MDA was low, and the relative electric conductivity was the lowest, therefore, it had the strongest ability to eliminate the free radicals, to lessen the destructive oxidation, and to maintain a high growth rate; The activity of protective enzymes and relative growth of *Diospyros lotus* were the lowest, but the content of MDA and relative electric conductivity were the highest; The activity of protective enzymes of *Koelreuteria paniculata* didn't change obviously, the content of MDA was low, and the relative electric conductivity was the lowest; The changes of the physiological indices of *Acer mono* and *Robinia pseudoacacia* were intervenient between *Melia azedarach* and *Diospyros lotus*. With the relative growth rate as an evaluation index, the ability of drought resistance of the tested tree species was: *Melia azedarach* > *Acer mono* > *Koelreuteria paniculata* > *Robinia pseudoacacia* > *Diospyros lotus*.

Keywords: drought stress; tree species; activity; antioxidant enzyme; relative growth rate

欢迎订阅 2007 年《中国生态农业学报》

《中国生态农业学报》(原刊名《生态农业研究》)是由中国科学院遗传与发育生物学研究所和中国生态经济学会主办的大农业学术期刊,科学出版社出版。主要刊登生态学、农业生态学、生态经济学及资源与环境保护等领域创新的研究学术论文、研究技术报告(包括农业生态系统原理、农业生态工程建设原理与技术、生物多样性保护、湿地保护、农业资源优化配置及效益、城镇绿地生态建设、无公害农产品生产技术、农业环境污染防治技术及生态农业产业化与循环经济、农业可持续发展研究等方面)、研究简报及综述、生态省(市)建设、生态农业建设和生态示范区建设典型模式与典型经验等,适于国内外从事生态学、生态经济学、农业生态学及环境保护等领域科技人员、高等院校有关专业师生、管理工作者和基层从事生态农业建设的广大技术人员等阅读与投稿。

《中国生态农业学报》国内外公开发行人,国际标准刊号:ISSN1671-3990,国内统一刊号:CN13-1315/S,双月刊,国际标准大16开本,每期定价14.60元,全年87.6元,由北京市报刊发行局发行,邮发代号:82-973,全国各地邮局均可订阅,漏订者可直接汇款至编辑部补订(若从编辑部补订全年需另加邮资18.00元)。

地址:河北省石家庄市槐中路286号《中国生态农业学报》编辑部

电话:(0311)85818007

邮编:050021