

干旱胁迫对桐花树生长和生理指标的影响

刁俊明¹, 曾宪录¹, 陈桂珠^{2*}

(1. 嘉应学院生命科学学院, 广东 梅州 514015; 2. 中山大学环境科学与工程学院, 广东 广州 510275)

关键词: 桐花树; 干旱胁迫; 生长和生理; 渗透调节; 保护酶活性

中图分类号: S722.3 Q945.1

文献标识码: A

Effects of Drought Stress on the Growth and Physiological Characteristics of *Aegiceras corniculatum*

DIAO Jun-ming¹, ZENG Xian-lu¹, CHEN Gui-zhu²

(1. College of Life Science, Jiaying University, Meizhou 514015, Guangdong, China;

2. School of Environmental Science and Engineering, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, Guangdong, China)

Abstract: Taking 3-year-old *Aegiceras corniculatum* as test material, and 4 gradients of simulated soil drought (soil moisture 100%, 70%—80%, 40%—50% and 20%—30%,) were set to study the effect of drought stress on the growth and physiological characteristics of *A. corniculatum*. The results indicated that as the severity of drought increased, the number of fallen leaves increased significantly while the survival rate of *A. corniculatum* decreased significantly; the activity of nitrate reductase declined gradually, the contents of free proline, soluble protein, malondialdehyde and membrane permeability in leaf all showed a trend of rise with the increase of drought stress severity, whereas the chlorophyll content, SOD activity, POD activity and root activity showed a trend of rising first then declining. In conclusion, *A. corniculatum* is able to grow well on freshwater land with a range of soil moisture of 70%—80%, but its growth and physiological characteristics will be significantly impaired by drought stress when soil moisture is below 50%.

Key words: *Aegiceras corniculatum*; drought stress; physiological characteristics; osmotic adjustment; protective enzyme activities

桐花树 (*Aegiceras corniculatum* (L.) Blanco) 属较耐低温、广布的红树植物, 能形成单种群落或作为其他红树植物乔木种的下层灌木, 适于河口滩涂种植^[1]。目前, 在桐花树的人工造林、生长发育特性和对环境的适应能力等方面^[2-8] 已进行了广泛的研究, 其中, 桐花树的抗寒能力研究结果表明其具有很强的抗寒能力, 其半致死温度为 $-9.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右^[9-10]; 其耐淹性也很强, 在为期 1 a 的淹水胁迫

下, 桐花树幼苗有较高的叶片保存率, 幼苗在中等高程水淹生境中保持较大生物量^[11]; 刘亚云等^[12] 的研究结果显示, 一定浓度的 PCBs 对桐花树的光合作用影响不大。陈桂珠等^[13] 研究表明, 低浓度的人工污水可以促进桐花树的生长。桐花树对生活污水的适应能力较强, 利用其净化生活污水是可行的^[14]。桐花树还具有重金属富集能力^[15], 轻度的铅污染有利于桐花树的生长^[16]。桐花树对淡水

收稿日期: 2013-09-26

基金项目: 广东省科技计划项目“红树植物桐花树治理城乡河涌污染的技术研究与应用”(2010B031900044)和“红树植物的生态应用和技术开发及其环境适应的研究”(2009198)资助

作者简介: 刁俊明(1958—), 男, 广东兴宁人, 教授, 主要从事植物生理生态学研究. E-mail: djmg@jyu.edu.cn

* 通讯作者: chenguizhu@yeah.net Tel: 020-84039737

湿地也表现出较强的适应性^[17-20],但它能否在淡水陆地上种植?适宜桐花树种植的土壤含水量是多少等仍是空白。因此,开展桐花树在淡水环境中的干旱胁迫研究具有十分重要的理论和实践意义。关于淡水环境中干旱胁迫对桐花树生理生态的影响未见报道。本试验通过设置土壤含水量为100%、70%~80%、40%~50%、20%~30%,研究桐花树对干旱胁迫的生理生态响应,以确定桐花树的抗旱能力,为确定适宜桐花树种植的土壤含水量,扩大其应用范围提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选取淡水培养下平均株高50~56 cm、基径2.41~2.76 cm、叶片数190~206片的生长发育良好、植株大小基本一致的3年生盆栽桐花树苗为试验材料。

1.2 试验方法

试验在广东省梅州市嘉应学院生命科学学院实验楼阳光瓦简易种植大棚中进行。设置4个土壤含水量梯度:(1)土壤含水量为100%(对照,CK);(2)土壤含水量为70%~80%(轻度干旱,A);(3)土壤含水量为40%~50%(中度干旱,B);(4)土壤含水量为20%~30%(重度干旱,C),每处理12株,种植在墨绿色塑料盆(高34.50 cm,盆口直径36.50 cm,底部直径30.00 cm)中,每盆1株。在盆底用渔网铺垫并且包裹植株,以便收集落叶。用土壤水分测定仪每15 d测定1次土壤含水量。刚植入植株时CK组保持在淡水中淹浸种植,其他3组都用水浇透,达到干旱梯度之后,CK组保持水浸种植,A组每2 d浇1次水,B组每4 d浇1次水,C组每8 d浇1次水,保持土壤含水量梯度。每60 d用 $5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 复合肥溶液对土壤进行1次施肥。试验时间为180 d。

1.3 指标测定方法

1.3.1 生长指标的测定 每60 d收集1次各组的落叶,计算落叶数量,测定落叶干质量,并记录幼苗存活株数和死亡株数及死亡症状等,计算存活率。

1.3.2 生理指标的测定 在第180天,采取桐花树苗成熟叶片,剪去粗大的叶脉并剪成碎块等前期处理后,按张志良^[21]的方法测定如下指标,每处理重复3次。

过氧化物酶(POD)活性采用比色法测定;超氧化物歧化酶(SOD)采用四氮唑蓝法测定;丙二醛(MAD)采用硫代巴比妥酸(TBA)法测定;游离脯氨酸采用酸性茚三酮法测定;相对电导率采用 DDS-307 型电导仪测定;硝酸还原酶活性采用磺胺(对氨基苯磺酰胺(Sulfanil-amide))比色法;可溶性蛋白质采用考马斯蓝测定;根系活力采用 α -萘胺法测定;叶绿素a、b的测定,采用UV-2800型紫外可见分光光度计分别在663 nm和645 nm处测定叶绿体色素提取液(浓度大时需稀释)的光吸收值。

叶绿素总量 = 叶绿素 a + 叶绿素 b。

1.4 数据统计分析

采用 Excel 和 SPSS 13.0 软件对所得数据进行单因素方差分析(one-way ANOVA),若差异达到显著,则进行 Duncan 多重比较, $P < 0.05$ 为差异显著。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对桐花树落叶数量及干质量的影响

不同干旱胁迫下,桐花树的落叶数量及其干质量均存在显著差异(表1)。从表1可知:C组和B组的落叶数量及其干质量均显著大于CK组,C组的落叶数量及其干质量分别比CK组的提高了202.17%和152.94%。可见,干旱胁迫对桐花树叶片生长有显著的影响;随着干旱程度的加剧,桐花树的落叶不断增加,且重度干旱的C组在180 d后有植株死亡。

表1 不同干旱胁迫下桐花树的落叶数量及其干质量(180 d)

处理	落叶数量/片	落叶干质量/g
CK	92.00 ± 3.05 c B	9.54 ± 0.39 c B
A	144.67 ± 26.72 bc B	13.93 ± 1.53 bc B
B	185.67 ± 27.00 b AB	16.83 ± 0.99 b AB
C	278.00 ± 33.87 a A	24.13 ± 2.59 a A

注:表中数据为平均值 ± 标准差,同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$);同列不同大写字母表示差异极显著($P < 0.01$),下同。

2.2 干旱胁迫对桐花树存活率的影响

从图1可知:干旱胁迫处理180 d,CK组和A组的存活率均为100%,而B组和C组的存活率均显著下降,且C组的存活率最低。B组和C组的存活率较CK组和A组的分别降低了16.67%和41.67%。可见,中度干旱胁迫即可引起桐花树存活率的显著降低。

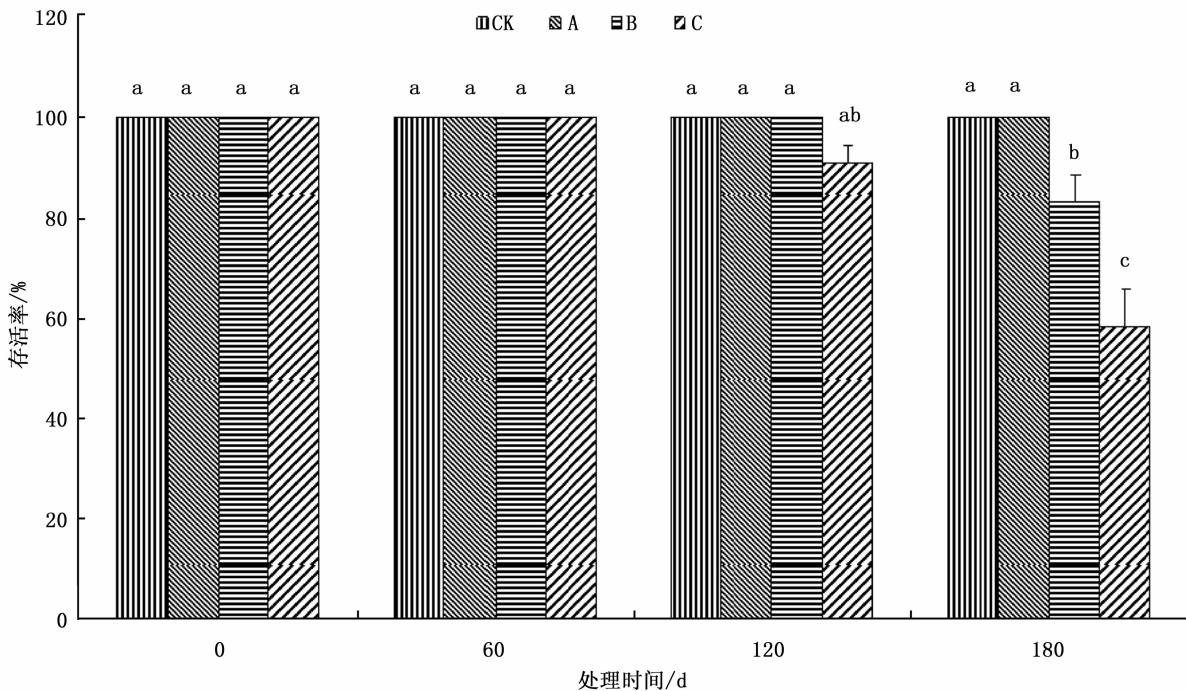


图1 干旱胁迫对3年生桐花树存活率的影响

2.3 干旱胁迫对桐花树硝酸还原酶活性的影响

由图2可看出:当土壤含水量为70%~80%,即在轻度干旱情况下,桐花树叶片的硝酸还原酶活性开始下降;随着干旱程度的加剧,硝酸还原酶活性呈下降的趋势,CK组的硝酸还原酶活性最高,而重度干旱C组的硝酸还原酶活性最低,存在显著差异。当土壤含水量为40%~50%(即中度干旱)时,酶活性显著下降。可见,中度干旱胁迫可引起桐花树叶片硝酸还原酶活性的显著降低。

2.4 干旱胁迫对桐花树根系活力的影响

由图3可知:在轻度干旱胁迫下,根系活力略有提高,可能是桐花树产生应急效应,以促进其根系对土壤中水分的吸收;但随着干旱程度的加剧,中度干旱B组和重度干旱C组的根系活力显著下降,重度干旱C组的根系活力下降尤为显著,其与CK组和轻度干旱A组存在显著差异。可见,中度干旱胁迫即可引起桐花树根系活力的显著降低。

2.5 干旱胁迫对桐花树叶片过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)活性和可溶性蛋白含量的影响

从表2可看出:随着干旱胁迫程度的加深,桐花树叶片POD和SOD活性均呈先升后降的趋势,其中,POD和SOD的活性在轻度干旱胁迫下均最大,而在中度干旱胁迫下开始下降。各干旱胁迫处理

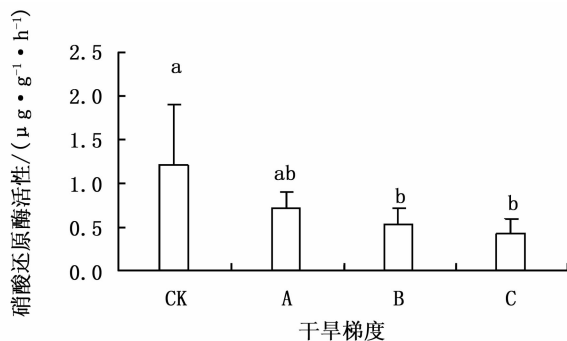


图2 干旱胁迫对3年生桐花树硝酸还原酶活性的影响

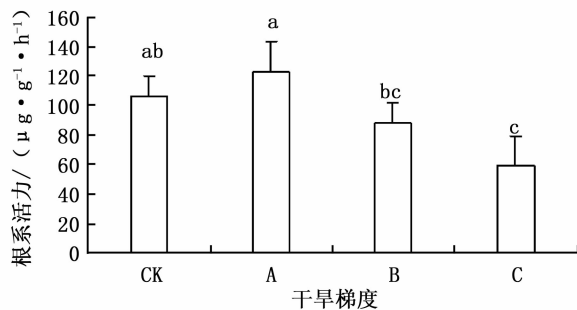


图3 干旱胁迫对3年生桐花树根系活力的影响

下,SOD活性存在显著差异,而POD活性差异不显著。可见,轻度干旱胁迫可使桐花树叶片的抗氧化酶POD、SOD活性上升,可能是桐花树对干旱胁迫产

生的应急响应;然而,重度干旱胁迫可能抑制了 POD 和 SOD 活性,使之下降。从表 2 还可看出:桐花树在干旱胁迫下叶片的可溶性蛋白含量显著提高,且各胁迫处理下其含量存在显著差异。

表 2 干旱胁迫下 3 年生桐花树叶片的过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)活性和可溶性蛋白含量的变化

处理	POD/ ($\mu \cdot g^{-1} \cdot min^{-1}$)	SOD/ ($\mu \cdot g^{-1} \cdot min^{-1}$)	可溶性蛋白含量/ ($mg \cdot g^{-1}$)
CK	5 313.18 \pm 102.22a	106.43 \pm 0.22b	978.78 \pm 0.17d
A	5 326.15 \pm 58.83a	113.17 \pm 0.24a	985.75 \pm 0.21b
B	5 298.74 \pm 92.19a	98.98 \pm 0.27c	981.18 \pm 0.23c
C	5 287.26 \pm 73.95a	87.86 \pm 0.30d	989.67 \pm 0.39a

2.6 干旱胁迫下桐花树叶片的丙二醛含量和相对电导率的变化

从图 4 可知:桐花树在干旱胁迫下叶片的丙二醛含量显著增大,其中,重度干旱处理的丙二醛含量急剧增加,且极显著高于对照组。

从图 5 可知:随着土壤含水量的降低,桐花树叶片的相对电导率总体呈上升趋势;轻度和中度干旱胁迫处理的相对电导率增幅不大,与对照组的差异不显著;而重度干旱胁迫处理的相对电导率则呈急剧上升,显著高于其他处理组。

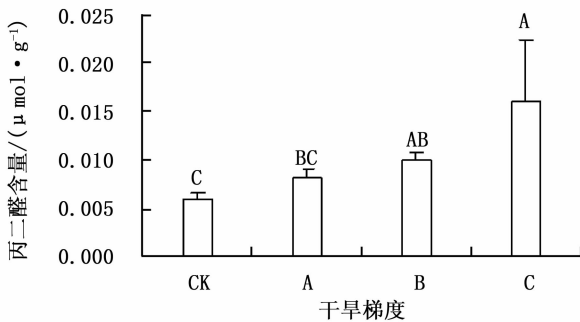


图 4 干旱胁迫下 3 年生桐花树丙二醛含量的变化

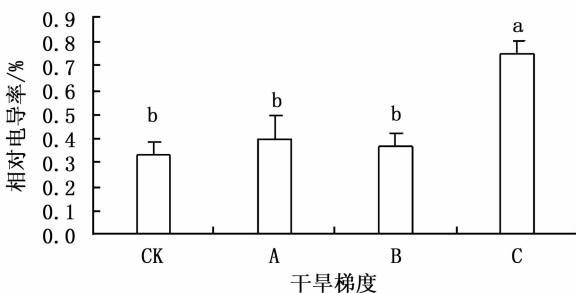


图 5 干旱胁迫对 3 年生桐花树幼苗相对电导率的影响

2.7 干旱胁迫对桐花树游离脯氨酸含量的影响

从图 6 可知:中度、重度干旱胁迫处理组的游离

脯氨酸含量显著高于对照组和轻度干旱胁迫处理组。可见,桐花树为了抵御干旱环境,通过增加游离脯氨酸来降低细胞的渗透势,以保持其生长活动的正常进行。

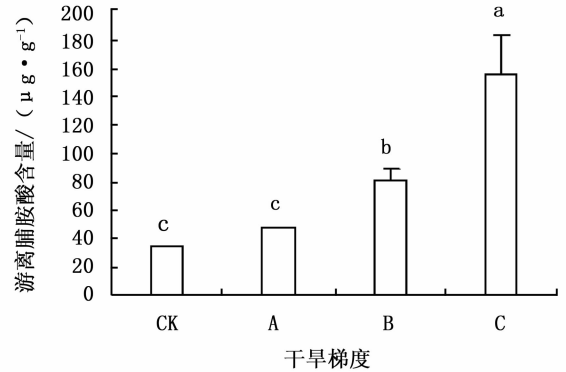


图 6 干旱胁迫对 3 年生桐花树游离脯氨酸含量的影响

2.8 干旱胁迫下桐花树叶绿素含量的变化

从表 3 可看出:轻度干旱、中度干旱和重度干旱组的叶绿素 a 含量均显著比对照的高,而在干旱胁迫下,叶绿素 a 含量表现为先升后降的趋势。叶绿素总量和叶绿素 a/b 也表现为先升后降的趋势,且各处理间差异显著。在干旱胁迫下,叶绿素 b 含量呈逐渐上升趋势。总的来说,在干旱胁迫下,叶绿素含量均显著高于对照组,叶绿素含量始终维持在一个较高的水平上。

表 3 干旱胁迫下桐花树叶绿素含量的变化

处理	叶绿素 a	叶绿素 b	叶绿素 a+b	叶绿素 a/b
	(mg · g ⁻¹)			
CK	2.35 \pm 0.13c	1.12 \pm 0.39b	3.47 \pm 0.49c	2.09 \pm 0.69b
A	4.26 \pm 0.08a	1.14 \pm 0.22b	5.40 \pm 0.30b	3.73 \pm 1.31a
B	4.90 \pm 0.20a	2.37 \pm 0.25a	7.27 \pm 0.42a	2.49 \pm 2.10b
C	3.73 \pm 0.10b	2.69 \pm 0.27a	6.42 \pm 0.36b	1.38 \pm 1.03c

3 结论与讨论

本研究表明,不同程度的干旱胁迫对桐花树的生长和生理有显著的影响。焦娟玉等^[22]研究表明,随土壤含水量的降低,麻疯树(*Jatropha curcas* L.)的株高、叶片生物量等均呈下降趋势。孙敏红等^[23]对菲油果(*Feijoa sellowiana* L.)幼苗的研究表明:在土壤含水率达到或小于 20% 时,植株生长受到抑制,叶片数显著减少。本试验结果与上述研究结论相似,即在干旱胁迫下,桐花树落叶显著增加,重度干旱胁迫可导致其死亡,其存活率显著下降。在中度和重度干旱胁迫下,桐花树的生长发育受到明显的

抑制。

硝酸还原酶是植物氮代谢中一个重要的调节酶和限速酶^[24],在调节植物对硝酸盐的还原与氮素吸收利用及维持植物体内多种生理代谢平衡有重要的调节作用^[25]。敖日格尔^[26]研究发现,干旱胁迫可引起小麦叶硝酸还原酶活性逐步下降;斯琴巴特尔等^[27]研究表明,玉米(*Zea mays* L.)幼苗经过不同的干旱胁迫处理后,其叶片的硝酸还原酶活性显著下降。本试验研究结果与上述研究结论相符,即对照组叶片的硝酸还原酶活性最高,而重度干旱组酶活性最低,差异极显著。

根系活力的大小可直接影响植株的生长发育,且是衡量根系抗御干旱能力的重要指标之一^[28-29]。俞建妹等^[30]研究发现,桂花(*Osmanthus fragrans* L.)苗的根系活力在土壤含水量60%时最大,而在土壤含水量10%时最低。本试验结果与此相似,在轻度干旱胁迫(土壤含水量为70%~80%)时,桐花树的根系活力最大;当土壤含水量低于40%~50%时,根系活力逐渐下降;在重度干旱(土壤含水量为20%~30%)时根系活力最低。这表明,桐花树能通过提高根系活力来抵御轻度干旱胁迫。

超氧化物歧化酶(SOD)是细胞抵御活性氧伤害的酶保护系统,在清除超氧自由基、控制膜脂的过氧化作用、保护细胞膜正常代谢等方面起重要作用^[31]。麻疯树的SOD活性表现为随土壤含水量的下降而显著降低^[22];菲油果幼苗的SOD活性随着土壤含水率的下降而降低^[23];土壤水分胁迫28 d,槟榔(*Areca catechu* L.)叶片的SOD活性随土壤相对含水量减少而降低^[32]。本试验结果与上述研究结论相似,在干旱胁迫条件下,桐花树叶片的SOD活性的整体变化趋势是先升后降;轻度干旱(土壤含水量70%~80%)下,SOD活性显著高于对照组,是干旱胁迫使植物体内产生较多的活性氧,诱导SOD活性提高以清除活性氧,从而减轻对细胞膜的伤害,这是植物的自我保护机制^[33];但随着干旱胁迫程度的加剧,SOD活性显著下降。这是由于植物体内严重缺水使植物细胞内代谢失调,自由基大量积累,膜质过氧化作用加大,导致SOD失活下降。本试验表明,桐花树叶片的SOD活性变化对不同土壤含水量的变化较敏感。

过氧化物酶(POD)与植物的抗逆性有关,是植物体内重要的保护酶之一^[34],对环境变化的反应敏感,各种逆境环境(干旱等)都会引起其活性的变

化。本试验中,桐花树叶片的POD活性呈先升后降的趋势,但变化幅度较小,各处理间差异不显著,这与陈歆等^[32]对槟榔叶片的研究结果不一致,而且桐花树叶片的POD活性一直保持在较高的水平,这表明桐花树对于干旱胁迫有一定的抵御能力。

植物体内的可溶性蛋白质含量变化可作为衡量植物抗逆性的重要生理指标^[35]。李妮亚等^[36]研究发现,植物在逆境条件下可诱导出新的蛋白质或使原有蛋白质含量增加。本试验表明,在干旱胁迫下,桐花树叶片的可溶性蛋白含量逐渐增加,可能是干旱胁迫使植物体内的不溶蛋白转变为可溶性蛋白以增加渗透调节能力,这与李妮亚等的研究结果相似。

相对电导率的大小是膜伤害的重要标志,而丙二醛(MDA)的含量可作为衡量膜脂过氧化作用程度的一种重要指标^[37-38]。Tomlinson^[39]的研究表明,相对电导率的大小与细胞膜的受伤程度成正相关。随着干旱胁迫的加剧,槟榔叶片的MDA含量显著增高^[32]。本试验结果与上述研究结论相似,即在重度干旱胁迫下,桐花树叶片的MDA含量和相对电导率显著升高;而在轻度干旱和中度干旱胁迫下,桐花树叶的相对电导率增幅很小,与对照的差异均不显著,这又表明桐花树对于干旱环境有一定的适应能力。

脯氨酸含量的增加可作为植物在干旱胁迫下的生理响应指标^[30]。本试验表明,干旱胁迫下,桐花树叶片中脯氨酸含量显著增加,这与槟榔叶片在干旱胁迫下的响应一致^[32]。渗透调节物质中的脯氨酸具有易于水合的趋势或具有较强的水合力,能防止原生质体的水分散失,桐花树在受到干旱胁迫时脯氨酸的增加,可能有助于细胞或组织的持水,防止脱水^[40]。

桐花树在轻度和中度干旱胁迫下,叶绿素a/b值比对照组的高,这与藏柏在干旱胁迫下的响应相似^[41]。在干旱胁迫下,桐花树的叶绿素含量呈上升趋势,这与麻疯树^[22]、楸树(*Catalpa bungei* L.)^[42]叶片在干旱胁迫下的响应一致。在重度干旱胁迫下,桐花树叶片的光合色素受到一定程度的破坏,所以叶绿素含量会下降;而在轻度干旱和中度干旱的环境中,桐花树具有较高的叶绿素含量,这表明桐花树具有一定的抗旱能力。

试验表明,桐花树在轻度干旱环境里可通过提高根系活力、增强SOD和POD的活性、增加脯氨酸含量和具有较高的叶绿素含量等来抵御干旱环境,

表现出生长发育良好,存活率为100%;而中度和重度干旱环境对桐花树的各项生理指标均有显著的影响,存活率显著下降。本研究认为,桐花树能适应一定程度的干旱环境,能够在土壤持水量为70%~80%及以上的淡水陆地上种植。

参考文献:

- [1] 缪绅裕,陈桂珠,李海生. 红树林植物桐花树和白骨壤及其湿地系统[M]. 广州:中山大学出版社,2007:13-89
- [2] 廖宝文,郑德璋,郑松发,等. 红树植物桐花树育苗造林技术的研究[J]. 林业科学研究,1998,11(5):474-480
- [3] 靖元孝,任延丽,陈桂珠. 人工湿地污水处理系统三种红树植物生理生态特性[J]. 生态学报,2005,25(7):1612-1619
- [4] 王继栋,董美玲,张文,等. 红树林植物桐花树的化学成分[J]. 中国天然药物,2006,4(4):275-277
- [5] 宋文东,王浩,张夏娟. 气相色谱-质谱测定红树植物桐花树叶中的挥发油和脂肪酸的组成[J]. 分析实验室,2007,26(增刊):353-356
- [6] 梁山,周仁超,董穗穗,等. 红树植物的盐适应性及其进化的研究进展[J]. 科学通报,2008,53(8):856-871
- [7] 李海生. 红树植物桐花树遗传多样性研究进展[J]. 广东教育学院学报,2007,27(5):66-70
- [8] 章金鸿,李玫,潘南明. 深圳福田红树林对重金属Cu、Pb、Zn、Cd的吸收、累积与循环[J]. 云南环境科学,2000,19(增刊):53-56
- [9] 杨盛昌,林鹏. 红树植物秋茄和桐花树抗寒力的越冬变化[J]. 应用生态学报,1997,8(6):561-565
- [10] 池伟,陈少波,仇建标,等. 树林在低温胁迫下的生态适应性[J]. 福建林业科技,2008,35(4):146-148
- [11] 何斌源,赖廷和,陈剑锋,等. 两种红树植物白骨壤(*Avicennia marina*)和桐花树(*Aegiceras corniculatum*)的耐淹性[J]. 生态学报,2007,27(3):1130-1138
- [12] 刘亚云,孙红斌,陈桂珠. 氯联苯对桐花树幼苗生长及膜保护酶系统的影响[J]. 应用生态学报,2007,18(1):123-128
- [13] 陈桂珠,马骅,黄玉山,等. 人工污水对桐花树的生长影响[J]. 中山大学学报:自然科学版,1998,7(2):186-190
- [14] 章金鸿,李玫,陈桂珠. 红树林湿地对榨糖废水中N、P的吸收和净化的可能性[J]. 重庆环境科学,1999,21(6):39-41
- [15] 高桂娟,韩瑞宏. 桐花树(*Aegiceras corniculatum*)在重金属胁迫下的响应机制研究进展[J]. 安徽农学通报(下半月刊),2009,15(14):58-59,165
- [16] 刁俊明,曾宪录,钟福生. 不同浓度铅处理对桐花树叶生理指标的影响[J]. 嘉应学院学报:自然科学版,2012,30(5):61-66
- [17] 刁俊明,邹嫣嫣,陈桂珠. 淡水培养对桐花树幼苗生长发育的影响[J]. 林业科学研究,2010,23(3):387-392
- [18] 刁俊明,孙卿,陈桂珠. 淡水驯化对桐花树光合生理特性的影响[J]. 植物研究,2010,30(3):416-423
- [19] 刁俊明,陈桂珠. 盆栽桐花树对不同遮光度的生理生态响应[J]. 生态学杂志,2011,30(4):656-663
- [20] 贺健,陈桂珠,罗航. 四种红树林植物的淡水驯化实验[J]. 生态科学,1999,18(3):12-15
- [21] 张志良. 植物生理实验指导(第三版)[M]. 北京:高等教育出版社,2003:41-165
- [22] 焦娟玉,陈珂,尹春英. 土壤含水量对麻疯树幼苗生长及其生理生化特征的影响[J]. 生态学报,2010,30(16):4460-4466
- [23] 孙敏红,袁德义,刘长虹. 不同土壤含水量对非油果幼苗生长及生理生化特性的影响[J]. 中国农学通报,2012,28(16):197-201
- [24] 余让才,李明启,范燕萍. 高等植物硝酸还原酶的光调控[J]. 植物生理学通讯,1997,33(1):61-65
- [25] Song S Q, Wang Y R, Fu J R. Re-search progress of Nitrate Reductase in higher plant[J]. Crops,1993(4):32-36
- [26] 敖日格乐. 干旱胁迫对小麦硝酸还原酶的补偿效应[J]. 内蒙古科技与经济,2010,205(3):57-58
- [27] 斯琴巴特尔,吴红英. 不同逆境对玉米幼苗根系活力及硝酸还原酶活性的影响[J]. 干旱地区农业研究,2001,19(2):67-70
- [28] 束良佐,刘英慧. 硅对盐胁迫下玉米幼苗生长的影响[J]. 农业环境保护,2001,20(1):38-40
- [29] 赵忠,李鹏. 渭北黄土高原造林树种根系分布特征及抗旱性研究[J]. 水土保持学报,2002,16(1):97-99
- [30] 俞建妹,唐树生,王凌晖. 水分胁迫对桂花幼苗生长及生长特性的影响[J]. 安徽农业科学,2010,38(4):2017-2019
- [31] 邵艳军,山仑. 植物耐旱机制研究进展[J]. 中国生态农业学报,2006,14(4):16-20
- [32] 陈歆,杨福孙,周兆德. 土壤水分胁迫对檳榔幼苗叶片生理的影响[J]. 热带作物学报,2010,31(3):287-292
- [33] Ederli L, Reale L, Ferranti F, et al. Responses Induced by High Concentration of Cadmium in *Phragmites australis* Roots[J]. Physiologia Plantarum,2004,121(1):66-74
- [34] 彭永康,张丰德. 不同剂量⁶⁰Co- γ 射线对小麦、水稻幼苗生长的影响[J]. 华北农学报,1987,2(1):13-18
- [35] Shi Y W, Wang Y L, Li W B. Effect of water stress on soluble protein, soluble sugar and proline content in *Tamarix hispida*[J]. Journal of Xinjiang Agricultural University,2007,30(2):5-8
- [36] 李妮亚,高俊凤. 干旱对小麦幼苗蛋白质组分及等电点的影响[J]. 西北农业大学学报,1997,25(3):6-9
- [37] 蒋明义,荆家海,王韶唐. 水分胁迫与植物膜脂过氧化[J]. 西北农业大学学报,1991,19(2):88-94
- [38] Hodges D M, Delong J M, Fomey C F, et al. Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds[J]. Planta,1999,207:604-611
- [39] Tomlinson P B. The Botany of Mangroves[M]. Cambridge: Cambridge University Press,1986:127-129
- [40] 周宜君,冯金朝,马文文,等. 植物抗逆分子机制研究进展[J]. 中央民族大学学报:自然科学版,2006,15(2):69-76
- [41] 黄颜梅,张健,罗承德. 西藏柏木抗旱生理研究[J]. 四川林业科技,1998,19(4):31-36
- [42] 王新建,何威,杨淑红,等. 干旱胁迫下4种楸树嫁接苗叶绿素含量的变化[J]. 经济林研究,2008,26(1):20-24