

干旱胁迫下悬铃木幼苗抗旱性综合评价

高怡然¹, 杨超伟², 陈浩¹, 岳华峰², 李相宽², 苏金乐^{1*}

(1. 河南农业大学, 河南 郑州 450002; 2. 国家林业局泡桐研究开发中心, 河南 郑州 450003)

摘要:采用盆栽控水法,测定持续干旱胁迫下1年生一球悬铃木(4个家系)、二球悬铃木和三球悬铃木叶片的相对含水量(RWC)、脯氨酸含量(Pro)等生理指标。结果表明,随着干旱胁迫程度增加,悬铃木幼苗的保护酶活性均呈现先升后降的趋势,RWC呈下降趋势,Pro含量和丙二醛(MDA)含量整体呈上升趋势。各指标的变化幅度在不同树种间的表现不一。经隶属函数法分析得出悬铃木幼苗的抗旱性大小顺序为一球悬铃木>二球悬铃木>三球悬铃木,通过灰色关联度分析可知各指标与其抗旱性关联顺序为过氧化物酶(POD)>过氧化氢酶(CAT)>超氧化物歧化酶(SOD)>Pro>RWC>MDA。

关键词:悬铃木;抗旱性;持续干旱;生理指标;隶属函数法;灰色关联度

中图分类号:S718.43 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2015)03-0045-06

Comprehensive Evaluation on Drought Resistance of Sycamore Seedlings under Drought Stress

GAO Yi-ran¹, YANG Chao-wei², CHEN Hao¹, YUE Hua-feng², LI Xiang-kuan², SU Jin-le^{1*}

(1. Henan Agricultural University, Zhengzhou, Henan 450002, China;

2. Paulownia Research and Development Center of SFA, Zhengzhou, Henan 450003, China)

Abstract: One year old seedlings of *Platanus occidentalis* (including four pedigrees), *P. × acerifolia* and *P. orientalis* were pot cultured and subjected to continuous drought stress. Physiological parameters, such as leaf relative water content (RWC), proline contents (Pro) and so on were measured. The results indicated that with the increase of drought stress, the protective enzyme activities of sycamore seedlings all increased at the beginning and decreased at last, RWC all decreased, the contents of Pro and MDA all increased. The changing of physiological indexes in different species showed different ranges. The membership function was used to rank their drought tolerance capabilities, and the order was: *P. occidentalis* > *P. acerifolia* > *P. orientalis*. The results of grey correlative degree analysis indicated that the correlation order between physiological indexes and drought resistance was POD > CAT > SOD > Pro > RWC > MDA.

Key words: *Platanus*; drought tolerance; persistent drought; physiological index; membership function; grey correlative degree analysis

悬铃木为悬铃木科(Platanaceae)悬铃木属(*Platanus*),其树形雄伟,树冠广阔,生长迅速,具有极强的抗尘能力,对城市环境的适应能力极强,故世界各国广为应用,有“行道树之王”的美称^[1]。近年来对悬铃木病虫害防治、组培等方面的研究比较多,并取得了一定的成果。目前对悬铃木幼苗的抗旱性

研究尚未见有关报道,蔡晓明^[2]等从光合特性和内源激素方面对一球悬铃木的抗盐性进行了研究。本试验以一球悬铃木(*P. occidentalis*)、二球悬铃木(*Platanus × acerifolia*)和三球悬铃木(*Platanus orientalis*)为研究对象,通过盆栽控水试验,测定其干旱条件下不同的生理指标,分析其抗旱能力及抗

收稿日期:2014-10-22 修回日期:2014-12-12

基金项目:国家林业局948项目(2012-4-51)。

作者简介:高怡然,女,在读硕士,研究方向:园林植物遗传育种。E-mail:664557872@qq.com

* 通信作者:苏金乐,男,教授,研究方向:园林植物遗传育种。E-mail:sujinle@163.com

旱机理,以期为其在园林绿化中的合理应用和筛选抗逆性较强的悬铃木植物提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与干旱处理

试验在国家林业局泡桐研究开发中心苗圃中进行,供试材料为 3 个不同种源 6 个家系的 1 年生实生苗(表 1)。采用盆栽控水法,自然干旱的方式进行土壤水分胁迫处理。2013 年 8 月中旬选取地径 0.8~1.0 cm、苗高 1.3~1.5 m 的长势良好、生长状况基本一致的苗木各 10 株,对所有的供试苗木浇透水后,用黑色塑料袋对花盆进行套袋处理,防止土壤水分蒸发,将花盆移至开阔全光照的地方。雨天时苗木进行遮雨,防止雨水影响干旱胁迫效果。

首次充分浇水后第 2 天进行第 1 次采样,作为对照。之后在 5、10、15 d 与 20 d 采样测定各项生理指标。取样时间均为 9:00,在每株苗木新梢 3 至 8 节位选取 3 片成熟叶片,采后迅速放入冰盒,带回实验室进行相关指标的测定;每次采样的同时用铝盒随机取土样,测土壤相对含水量。每个指标测定均设定 3 个重复。

表 1 供试材料		
Table 1 Materials for the experiment		
编号	种名	种源地
SQ	三球悬铃木(<i>Platanus orientalis</i>)	山东淄博
EQ	二球悬铃木(<i>Platanus×aceri folia</i>)	河南巩义
YQ-1	一球悬铃木(<i>P. occidentalis</i>)-1	上海松江
YQ-2	一球悬铃木-2	上海松江
YQ-3	一球悬铃木-3	上海松江
YQ-4	一球悬铃木-4	上海松江

1.2 测定指标与方法

土壤含水量测定采用烘干称重法^[3];叶片相对含水量(RWC)采用烘干称重法,丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸法^[4];脯氨酸(Pro)含量采用茚三酮比色法,超氧化物歧化酶(SOD)活性采用氮蓝四唑法,过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚比色法,过氧化氢酶(CAT)活性采用紫外吸收法^[5]。

1.3 数据分析方法

采用模糊数学中的隶属函数法对悬铃木幼苗的抗旱能力进行综合评价^[6]。用灰色系统理论中的灰色关联分析法^[7]确定抗旱指标与树种抗旱性的关系,关联度越大,说明这个指标与抗旱性的关系越密切。运用 Excel 2010 和 SPSS. 17 软件对试验数据进行处理分析。

2 结果与分析

2.1 持续干旱下土壤相对含水量的变化

持续干旱下土壤相对含水量的平均值随着干旱时间的延长,一开始迅速下降,在干旱后期,下降逐渐减缓。浇水后第 2 天土壤相对含水量为 42.17%,为正常情况,作为对照(CK)。随着干旱时间的延长,土壤相对含水量分别为 27.30%、10.39%、7.82%和 3.72%,形成了 5 个梯度:对照(CK)、轻度干旱(T1)、中度干旱(T2)、重度干旱(T3)和极重度干旱(T4)(表 2)。

表 2 持续干旱下土壤相对含水量的变化		
Table 2 Changes of soil relative water content under drought stress		
干旱天数/d	土壤相对含水量/%	干旱程度
2	42.17	对照(CK)
5	27.30	轻度干旱(T1)
10	10.39	中度干旱(T2)
15	7.82	重度干旱(T3)
20	3.72	极重度干旱(T4)

2.2 干旱胁迫对叶片相对含水量的影响

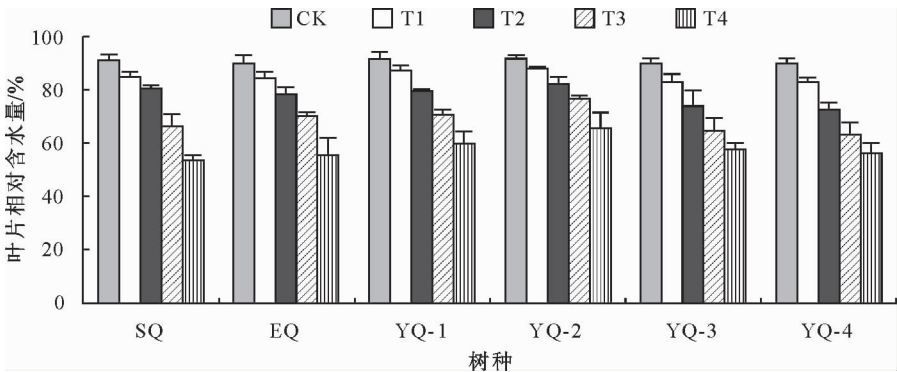
供试悬铃木幼苗 RWC 经干旱胁迫后均呈下降趋势(图 1)。经过 20 d 干旱胁迫后,SQ 的 RWC 下降最多,为 40.90%;YQ-2 的 RWC 下降最少,为 28.34%。不同树种幼苗间的 RWC 差异极显著($p<0.01$)。下降幅度较小,表明叶片保水能力强。6 种悬铃木幼苗叶片保水力大小顺序为 YQ-2>YQ-1>YQ-3>YQ-4>EQ>SQ。

2.3 干旱胁迫对脯氨酸含量的影响

随着干旱时间的延长,6 种悬铃木幼苗叶片的 Pro 含量的变化整体呈上升趋势,也有呈先降低后上升的现象,且不同悬铃木幼苗间的 Pro 含量差异不显著($p>0.05$)。YQ-2 和 YQ-4 的 Pro 含量呈不断上升的趋势进行渗透调节,T4 时分别是 CK 的 148.11 倍和 209.29 倍;SQ、EQ、YQ-1、和 YQ-3 的 Pro 含量在 T3 时达到峰值,然后干旱后期(T4)开始呈下降趋势,此种现象可能因为干旱胁迫的进一步加剧,使植物组织严重萎蔫、碳水化合物供给减少以及酶的活性丧失而导致 Pro 积累量的减少。则以 Pro 含量变化幅度的大小排序为 YQ-4>YQ-1>YQ-3>EQ>SQ>YQ-2(图 2)。

2.4 干旱胁迫对保护酶活性的影响

随着干旱胁迫程度的增加,6 种悬铃木幼苗叶片的 SOD、POD 和 CAT 活性变化均呈先升后降的趋势(图 3~图 5)。3 种酶活性峰值时间在不同悬铃木幼苗间存在着一定的差异。3 种酶活性达到峰值后均呈下降趋势,说明此时的水分胁迫程度已经超过了植物自身调控的能力,其抗氧化能力开始衰退。



注:SQ:三球悬铃木,EQ:二球悬铃木,YQ:一球悬铃木,T1:轻度干旱,T2:中度干旱,T3:重度干旱,T4:极重度干旱,下同。

图 1 干旱胁迫下悬铃木幼苗叶片相对含水量的变化

Fig. 1 Changes of leaf relative water content in Sycamore seedlings under drought stress

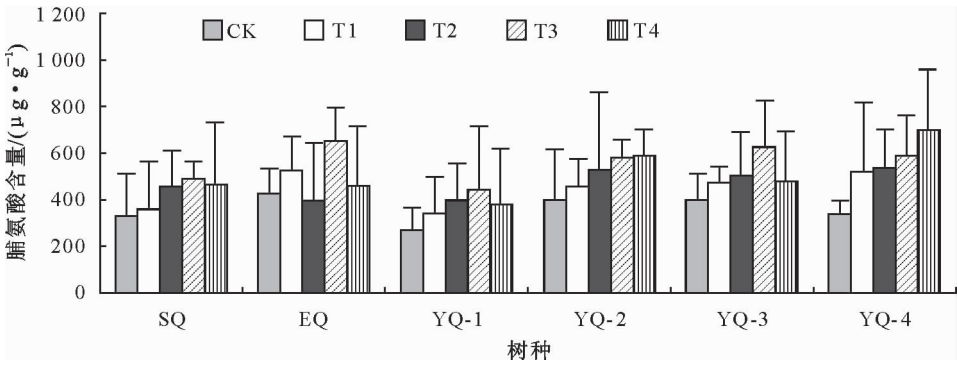


图 2 干旱胁迫下悬铃木幼苗脯氨酸含量的变化

Fig. 2 Changes of proline contents in sycamore seedlings under drought stress

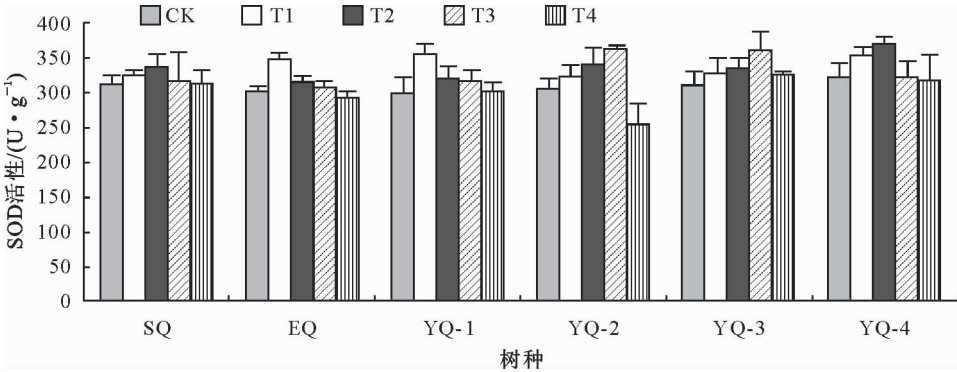


图 3 干旱胁迫下悬铃木幼苗的 SOD 活性变化

Fig. 3 Changes of superoxide dismutase(SOD) activity in sycamore seedlings under drought stress

在持续干旱条件下,EQ 和 YQ-1 的 SOD 活性在 T1 时达到峰值,SQ、YQ-4 在 T2 时达到峰值,YQ-2 和 YQ-3 在 T3 达到峰值,且均大于 CK,说明 EQ 和 YQ-1 的 SOD 响应迅速,最先达到最大值。6 种悬铃木幼苗达到最大值后均呈下降趋势,其中 T4 时 5 树种(除了 YQ-3)的 SOD 活性均小于对照。YQ-1 的 SOD 活性变化幅度最大,比其 CK 升高了 18.66%。以 SOD 活性变化幅度的大小排序为 YQ-1>YQ-2>YQ-3>EQ>YQ-4>SQ。不同悬铃木幼苗的 SOD 活性变化差异显著。

从 POD 活性来看,SQ、YQ-2 和 YQ-3 的 POD 活性迅速升高,在 T1 时达到最高值,且均大于 CK,后迅速下降,且 T4 时低于对照;EQ、YQ-1 和 YQ-4 均先缓慢升高,其中 EQ 和 YQ-1 在 T2 时达到最高值,YQ-4 在 T3 时达到最高值,且均大于 CK,然后迅速下降,T4 时 EQ 低于对照。YQ-4 的 POD 活性变化幅度最大,比其 CK 升高了 358.26%。以 POD 活性变化幅度的大小排序为 YQ-4>YQ-1>YQ-3>EQ>YQ-2>SQ。不同悬铃木幼苗的 POD 活性变化均差异极显著。

SQ 和 YQ-2 的 CAT 活性在 T1 时达到最高值,EQ、YQ-1、YQ-3 和 YQ-4 在 T2 时达到最高值,且均大于 CK。6 树种在达到最大值后均缓慢下降,在 T4 时 5 树种(除 YQ-4 外)均小于 CK。YQ-4 的

CAT 活性变化幅度最大,比其 CK 升高了 143.66%。以 CAT 活性变化幅度大小排序为 YQ-4>YQ-2>YQ-3>EQ>YQ-1>SQ。不同悬铃木幼苗的 CAT 活性变化差异极显著。

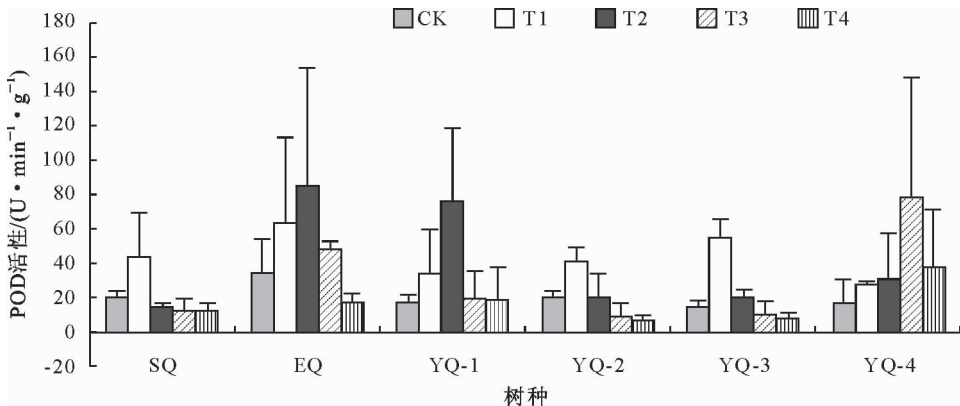


图 4 干旱胁迫下悬铃木幼苗 POD 活性变化

Fig. 4 Changes of peroxidase(POD) activity in sycamore seedlings under drought stress

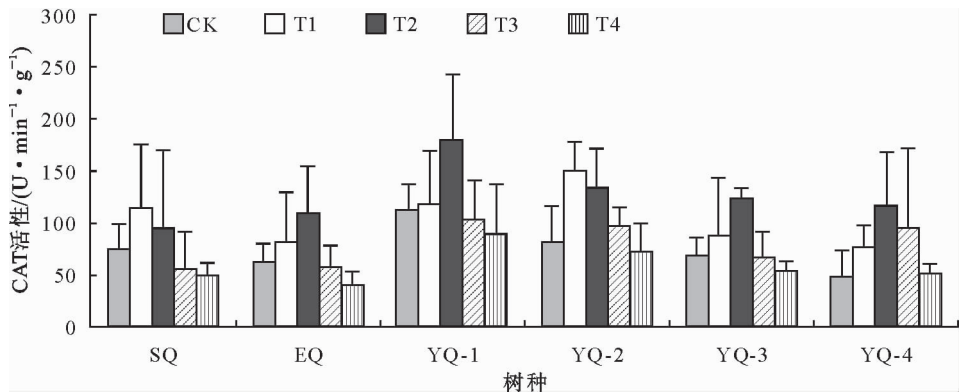


图 5 干旱胁迫下悬铃木幼苗 CAT 活性变化

Fig. 5 Changes of catalase(CAT) activity in sycamore seedlings under drought stress

2.5 干旱胁迫对丙二醛含量的影响

随着干旱胁迫程度的增加,6 种悬铃木幼苗叶片 MDA 含量均呈上升趋势,干旱胁迫初期均缓慢上升,在 T2 时均迅速升高,反映了 6 种悬铃木幼苗对干旱胁迫的适应过程。干旱胁迫 20 d 后,SQ 的

变化幅度最大,比其 CK 升高了 192.04%,说明 SQ 的膜系统伤害最大,它的抗旱性能最弱;反之,YQ-2 的抗旱性最强。以 MDA 含量变化幅度大小排序为 SQ>EQ>YQ-4>YQ-1>YQ-3>YQ-2,不同悬铃木幼苗间的 MDA 含量差异不显著(图 6)。

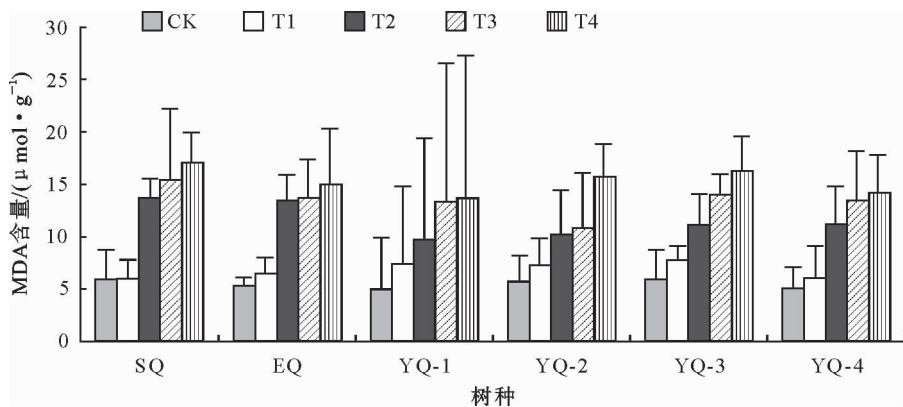


图 6 干旱胁迫下悬铃木 MDA 含量的变化

Fig. 6 Changes of malon-dialdehyde(MDA) contents in sycamore seedlings under drought stress

2.6 悬铃木幼苗抗旱性的综合评价

对 6 种悬铃木幼苗叶片各个指标的原始数据进行标准化无量纲处理,然后计算出各抗旱指标与抗旱性的关联系数和关联度,并按关联度大小排出关联序,抗旱性综合评价排序为 YQ-2>YQ-4>YQ-1>YQ-3>EQ>SQ。总的来说是 YQ 抗旱性最强, EQ 次之, SQ 较差(表 3)。各项抗旱指标与抗旱性

的关联顺序为 POD>CAT>SOD>Pro>RWC>MDA,且 POD、CAT 和 SOD 与悬铃木幼苗的抗旱性关联度均较大,其次为 Pro 含量,而 RWC 和 MDA 含量最小(表 4)。说明干旱胁迫下保护酶类的活性大小是衡量悬铃木幼苗抗旱性的首要指标; Pro 含量是其辅助指标;RWC 和 MDA 含量是其次要指标。

表 3 悬铃木幼苗抗旱力综合评价

Table 3 Comprehensive evaluation on drought resistance ability of four varieties of sycamore seedlings								
树种	RWC	Pro	SOD	POD	CAT	MDA	平均隶属函数值	抗旱性排序
SQ	0.558	0.451	0.513	0.239	0.375	0.545	0.447	6
EQ	0.590	0.529	0.399	0.277	0.346	0.600	0.457	5
YQ-1	0.572	0.436	0.535	0.277	0.378	0.589	0.464	4
YQ-2	0.632	0.425	0.644	0.361	0.477	0.580	0.520	1
YQ-3	0.507	0.453	0.504	0.301	0.484	0.546	0.466	3
YQ-4	0.525	0.477	0.561	0.260	0.462	0.549	0.472	2

表 4 悬铃木幼苗抗旱性与各指标的关联系数、关联度和关联序

Table 4 Drought resistance of correlative modulus correlative degree and correlative order of sycamore seedlings								
指标	关联系数						关联度	关联序
	SQ	EQ	YQ-1	YQ-2	YQ-3	YQ-4		
RWC	0.687	0.485	0.632	0.684	0.610	0.664	0.627	5
Pro	0.557	0.674	0.638	0.606	0.638	0.725	0.640	4
SOD	0.681	0.640	0.593	0.599	0.726	0.699	0.656	3
POD	0.775	0.731	0.729	0.594	0.566	0.713	0.685	1
CAT	0.644	0.629	0.656	0.608	0.706	0.741	0.664	2
MDA	0.635	0.628	0.587	0.564	0.582	0.687	0.614	6

3 结论与讨论

植物叶片相对含水量是植物抗旱性评价的重要指标^[8]。RWC 是植物有效吸收并运输至叶片的水分,抗旱性强的树种其叶片结构特征有利于保持水分,RWC 下降的速度比抗旱性弱的树种缓慢^[9]。本研究表明,在干旱胁迫下,6 种悬铃木幼苗 RWC 随着土壤含水量的降低而逐渐减少,YQ 的 RWC 降低幅度最小,说明其保水能力最强。徐秀梅^[10]等认为叶的保水力可以直接反映植株的抗旱能力,反映离体叶片的保水能力。在干旱胁迫条件下许多植物体内大量积累 Pro,Pro 作为渗透调节物质,其含量升高有利于植物对于干旱胁迫的抵抗^[11]。在正常情况下植物体内脯氨酸含量比较低,当受到外界胁迫时,脯氨酸含量会大量积累,这种积累的指数和植物的抗性有关,是表现植物抗性强弱的一项重要指标^[12]。本研究结果中,6 种悬铃木幼苗 Pro 含量整体呈上升趋势,但 SQ、EQ、YQ-1 和 YQ-3 在上升到一定程度时开始下降,韩艳^[13]等认为可能是植物组织因严重萎蔫、碳水化合物供给减少以及酶的活性丧失而导致游离脯氨酸积累量减少的,与徐莲珍^[14]等的研究结果一致。

植物体在生命过程中活性氧的产生与清除成平衡状态,SOD、POD 和 CAT 是植物体内清除活性氧的防护系统^[15]。三者协同起作用共同抵抗干旱胁迫诱导的氧化伤害;SOD 能将超氧负离子转化为 H₂O₂ 和 O₂,而 CAT 和 POD 可将 H₂O₂ 进一步清除产生 H₂O₂;抗旱性强的植物,在干旱胁迫下,SOD、POD、CAT 的活性较高,能有效地清除活性氧,阻抑膜脂过氧化^[16]。本研究 6 种悬铃木幼苗 SOD、POD 和 CAT 活性变化均呈先升后降的趋势,总体上 YQ 酶活性变化幅度最大,说明其清除活性氧的能力最强。赵兰^[16]等认为抗逆性高的品种有较高的酶活性,在持续干旱条件下,酶活性越高,植物的抗旱性越强。当植物受到干旱胁迫时,细胞膜受到破坏并大量积累活性氧,使细胞膜发生过氧化作用,膜脂过氧化的一种主要降解产物为丙二醛,MDA 能够破坏植物生物膜的结构^[17]。徐莲珍^[14]等研究认为保护酶系统在重度胁迫时酶活性受到了抑制,3 种酶活性下降,无法有效地清除活性氧,而造成了膜脂过氧化使膜系统受到了破坏,从而 MDA 含量升高。本研究表明悬铃木幼苗的 MDA 含量呈上升趋势,SQ 的 MDA 含量上升幅度最大,说明 SQ 的叶片的活性氧过多,使膜脂过氧化程度

变大,细胞膜受损伤严重。与徐秀梅^[10]等的研究结果一致。

植物的抗旱能力是一种复合性状,单纯的用一个抗旱指标很难说明问题,只有采用多指标的综合评价,才能比较客观的反映植物的抗旱性^[16]。吴涛^[18]等研究表明同一树种的无性系的各项生理生化指标变化也不总是一致的,植物对水分胁迫适应性反应途径存在多样性,即使同一树种也可能存在不同的适应干旱的途径。利用模糊隶属函数法对悬铃木幼苗的抗旱性进行综合评价,隶属函数的平均值越大,抗旱性越强。抗旱性综合评价排序为:YQ-2>YQ-4>YQ-1>YQ-3>EQ>SQ。总的来说是YQ抗旱性最强,EQ次之,SQ较差,这与3个悬铃木的叶结构差异有关^[19]。根据灰色系统理论,关联度表示各指标与抗旱系数的密切程度,关联度越大说明该指标与抗旱系数的关系越密切^[15]。本研究结果表明,干旱胁迫下保护酶类的活性大小是衡量悬铃木幼苗抗旱性的首要指标;Pro含量是其辅助指标;RWC和MDA含量是其次要指标。

本试验仅对悬铃木一年生幼苗叶片部分生理生化指标与抗旱性关系进行了初步研究,尚不能完全反映悬铃木幼苗的抗旱性。因此,还可以考虑研究在田间自然生长和不同生长时期的悬铃木叶片对于旱胁迫逆境适应的生理生化机理,这对深入探讨悬铃木抗旱性机理具有重要意义。

参考文献:

[1] 陈有民. 园林树木学[M]. 北京:中国林业出版社,1990:400.

[2] 蔡晓明,卢宇蓝,施季森. 一球悬铃木无性系耐旱性研究[J]. 西北林学院学报, 2010,25(6):19-24.

CAI X M, LU Y L, SHI J S. Drought resistance of pure-clonic forms of *Platanus occidentalis* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2010, 25(6): 19-24. (in Chinese)

[3] 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,2003:110-111.

[4] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业出版社,2000:195.

[5] 郝再彬,苍晶,徐仲. 植物生理实验[M]. 哈尔滨:哈尔滨大学出版社,2004:101-108.

[6] 龚明. 作物抗旱性鉴定方法与指标及其综合评价[J]. 云南农业大学学报,1989,4(1):73-81.

GONG M. Screening methods and indexes of drought resistance in crops and comprehensive evaluation [J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 1989, 4(1): 73-81. (in Chinese)

[7] 白振兰. 灰色关联分析研究综述[J]. 灰色系统理论与实践, 1993,3(2):119-122.

[8] GRIFFITHS H, PARRY M J A. Plant response to water stress[J]. Annals of Botany, 2002, 89(7): 801-802.

[9] MARSHALL J, RUTLEDGE R, BLUMWALD E. Reduction in turgid water volume in jack pine, white spruce and black spruce in response to drought and paclobutrazol[J]. Tree Physiology, 2000, 20(10): 701-707.

[10] 徐秀梅,张新华,王汉杰. 四翅滨藜抗旱生理特性研究[J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2004, 28(5): 54-58.

XU X M, ZHANG X H, WANG H J. Physiological property in drought resistance of *Atriplex canescens* [J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition, 2004, 28(5): 54-58. (in Chinese)

[11] 哈申格日乐,宋云民,李吉跃,等. 水分胁迫对毛乌素地区4树种幼苗生理特性的影响[J]. 林业科学研究, 2006, 19(3): 358-363.

[12] 王邦锡,黄久常,王辉. 不同植物在水分胁迫条件下脯氨酸的积累与抗旱性的关系[J]. 植物生理学报, 1989, 15(1): 46-51.

WANG B X, HUANG J C, WANG H. The correlation of proline accumulation and resistance in various plants under water stress condition [J]. Acta Phytophysiological Sinica, 1989, 15(1): 46-51. (in Chinese)

[13] 韩艳,林夏珍. 5种常绿阔叶树幼苗的抗旱性比较[J]. 浙江林学院学报, 2009, 26(6): 822-828.

HAN Y, LIN X Z. Drought resistance in seedlings of five evergreen broadleaf tree species [J]. Journal of Zhejiang Forestry College, 2009, 26(6): 822-828. (in Chinese)

[14] 徐莲珍,蔡靖,姜在民,等. 水分胁迫对3种苗木叶片渗透调节物质与保护酶活性的影响[J]. 西北林学院学报, 2008, 23(2): 12-14.

XU L Z, CAI J, JIANG Z M, *et al.* Effects of water stress on osmotic adjustment and activity of protect enzymes in the leaves of three sorts of seedlings [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2008, 23(2): 12-14. (in Chinese)

[15] 黄承玲,陈训,高贵龙. 3种高山杜鹃对持续干旱的生理响应及抗旱性评价[J]. 林业科学, 2011, 47(6): 48-55.

HUANG C L, CHEN X, GAO G L. Physiological response of seedlings of three azalea species of drought stress and evaluation of drought resistance [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2011, 47(6): 48-55. (in Chinese)

[16] 赵兰,邢欣婷,江泽慧,等. 4种地被观赏竹的抗旱性研究[J]. 林业科学研究, 2010, 23(2): 221-226.

[17] STOREY R, JONES R G W. Quaternary ammonium compounds in plants in relation to salt resistance [J]. Phytochemistry, 1977, 16(4): 447-453.

[18] 吴涛,陈少瑜,彭明俊,等. 不同种源膏桐在干旱胁迫下生理指标的变化[J]. 西北林学院学报, 2008, 23(2): 7-11.

WU T, CHEN S Y, PENG M J, *et al.* Changes of physiological Indices of *Jatropha curcas* from different provenances under drought stress [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2008, 23(2): 7-11. (in Chinese)

[19] 常燕虹,郑海军,刘建才. 3种悬铃木叶结构的差异比较[J]. 西北林学院学报, 2011, 26(6): 48-50.

CHANG Y H, ZHENG H J, LIU J C. Comparison of the histological leaf structures of three platanus varieties [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2011, 26(6): 48-50. (in Chinese)