林业科学研究 2005,18(6):695～700
Forest Research

文章编号:1001-1498(2005)06-0695-06

3种相思幼苗抗旱性研究

张卫华[1]，张方秋[1,3]*，张守攻[2]，徐大平[1]，陈祖旭[1]，黄烈健[1]

(1. 中国林业科学研究院热带林业研究所,广东 广州 510520;2. 中国林业科学研究院林业研究所,北京 100091;
3. 广东省林业科学研究院,广东 广州 510520)

摘要:以聚乙二醇(PEG-6000)的渗透溶液模拟水分胁迫条件,比较了不同水分胁迫强度下3种相思幼苗的抗旱性,并确定了鉴定幼苗抗旱性的生理指标。结果表明:相对电导率、相对含水量、相对水分亏缺、可溶性糖含量、游离脯氨酸等指标可作为鉴定相思幼苗早期抗旱性的生理指标;3个树种的抗旱能力排序为:厚荚相思 > 大叶相思 > 马占相思。

关键词:相思;幼苗;抗旱性;生理指标

中图分类号:S722.3+6　　**文献标码**:A

Study on the Drought-resistance of Three Seedlings of *Acacia*

ZHANG Wei-hua[1], *ZHANG Fang-qiu*[1,3], *ZHANG Shou-gong*[2],
XU Da-ping[1], *CHEN Zu-xu*[1], *HUANG Lie-jian*[1]

(1. Research Institute of Tropical Forestry, CAF, Guangzhou 510520, Guangdong, China; 2. Research Institute of Forestry, CAF, Beijing 100091, China; 3. Guangdong Research Institute of Forestry, Guangzhou 510520, Guangdong, China)

Abstract: This paper compared the drought resistance of three seedlings of *Acacia* under different water stress by means of treating with polyethylene glycol 6000 (PEG-6000) solutions with different osmotic potentials to imitate the condition of water stress, furthermore, decided appraising physiological indexes of early drought resistance of seedlings. The result showed that the indexes of *EC*, *RWC*, *RWD*, *Ssug* and *Fpro* could be used as appraising indexes of early drought resistance of seedlings of *Acacia*, and concluded that the drought resistance of three tree species from strong to weak was *A. crassicarpa*, *A. auriculaeformis*, *A. mangium*.

Key words: *Acacia*; seedlings; drought resistance; physiological indexes

相思(*Acacia*)是一种短周期工业用材树种,它不仅速生而且适应性广,耐干旱瘠薄,速生丰产,能产生根瘤,有固氮作用,具有良好的改良土壤性能,从其引进试种到目前的规模化种植,已在林业产业和生态环境建设中发挥了重大作用。植物抗旱性是一个多性状控制的复合遗传性状,植物通过多种途径来对干旱胁迫做出反应,单一的抗旱性鉴定指标,难以反应出植物的综合抗旱能力,因此采用多指标进行综合分析,才能比较准确的反映植物的抗旱水平,进一步从整体上揭示植物的抗性能力。

南方林木的抗旱性研究起步比较晚,南京林业大学的谢寅峰等[1~3]对南方主要造林树种进行了大量的研究:测定了水分胁迫下6个阔叶树种的光合速率变化,得出抗旱剂可以明显提高树种胁迫下的光合速率;采用PV技术测定了干旱胁迫下南方4种针叶树种的多项水分参数,并进行了比较;对水杉(*Metasequoia glyptostroboides* Hu et Cheng)等7个南

收稿日期: 2005-04-15
基金项目: "十五"国家科技攻关项目(2002BA515B0202),"948"引进国际创新项目(2001-C2)
作者简介: 张卫华(1977—),女,河北定兴,中国林业科学研究院在读博士生.
* 为通讯作者

方造林树种进行了水分胁迫下5种生理指标的测定,对树种的抗旱性进行了综合排序。目前相思的抗旱性研究报道很少,高洁等[4]将台湾相思(*A. confusa* Merr.)、大叶相思(*A. auriculaeformis* A. Cunn.)和攀枝花干热河谷地区的12个树种进行了抗旱性比较;高洁等[5]对元谋干热河谷的15个树种进行了耐旱性评估,其中有6种相思树种具有较高的抗旱能力。本文测定了3种相思的相对电导率、相对含水量等9个水分生理和生理生化指标,对相思优良速生树种的抗旱性生理基础进行了研究,建立了抗旱性筛选的指标体系,对3个树种的抗旱能力进行了准确鉴定,为相思抗旱品种选育提供了理论依据和方法,希望在区域试验的基础上,最终为华南地区培育出抗旱、速生、适应性广的相思新品种。

1 试验材料和方法

1.1 试验材料

马占相思(*A. mangium* Willd.)、大叶相思、厚荚相思(*Acacia crassicarpa* A. Cunn. et Benth)1年生播种苗由广东省龙洞林场提供,苗高为30～50 cm。

1.2 试验方法

1.2.1 水分胁迫处理 每个树种选取50株生长一致的健壮幼苗,进行水分胁迫处理,以单株为1个重复,共计50次重复。幼苗先在1/2 Hoagland营养液中过渡2 d,然后用1/2 Hoagland营养液和汕头华大进口分装的聚乙二醇6000(Polyethylene glycol 6000)配制以下渗透势的溶液:0 MPa(CK),-0.5 MPa(PEG-6000含量150 g·L^{-1}),-2.0 MPa(PEG-6000含量300 g·L^{-1})。把幼苗洗净后放入不同渗透势的PEG溶液中,进行中度胁迫、严重胁迫水分胁迫处理,处理时间为24 h,以不加PEG的1/2Hoagland营养液中的苗木作为对照。各处理均在室温下进行,室内温度为26 ℃左右,相对湿度为75%～85%。测定时间是2003年7—9月,不同树种的相同指标均在早晨8:00取样进行指标测定。

1.2.2 指标测定

1.2.2.1 相对电导率测定 取幼苗第2片展开叶(自上而下数),将叶片先用自来水轻轻冲洗除去表面的污物,再用去离子水冲洗,用滤纸轻轻吸干叶片表面的水分。避开主叶脉,用打孔器打取3个直径0.8 cm的圆片,用去离子水冲洗3次,放入内有20 mL重蒸馏水的三角瓶中,室温放置15 h,然后用电导仪(DDS-307型)在室温下测定溶液的电导率(R);之后再盖上瓶盖,在富华420型三用水箱中沸水浴30 min,将组织全部杀死,冷却至室温后在同样的条件下测定各瓶溶液的电导率($R1$),以叶片组织杀死前的电导率占杀死后的电导率的百分数来表示相对电导率(EC):$EC = R/R1 \times 100\%$

1.2.2.2 相对含水量(RWC)和相对水分亏缺(RWD)测定 采样称取鲜叶质量后用蒸馏水浸泡24 h,然后称饱和鲜质量,最后在105 ℃下烘8 h称干质量,根据公式计算:RWC =((鲜叶质量-干质量)/(饱和鲜质量-干质量))×100%,$RWD = (1 - RWC) \times 100\%$。

1.2.2.3 丙二醛含量的测定 采用TBA法[6]。

1.2.2.4 可溶性蛋白的测定 采用考马斯亮兰G-250染色法[7]。

1.2.2.5 *SOD*活性测定 采用NBT光化学还原法[8]。

1.2.2.6 *POD*活性测定 采用愈创木酚法[8]。

1.2.2.7 可溶性糖含量的测定 采用蒽酮比色法[9]。

1.2.2.8 脯氨酸含量的测定 采用磺基水杨酸法[10]。

1.3 数据处理

采用Microsoft Exel 2000和SAS统计分析软件包[11]进行处理。

2 结果与分析

3种相思(50个样本/树种)1年生播种苗经PEG水分胁迫处理后,相对电导率(EC)、相对含水量(RWC)、自然水分亏缺(RWD)、丙二醛含量(MDA)、可溶性蛋白质含量($Spro$)、超氧化物歧化酶活性(SOD)、过氧化物歧化酶活性(POD)、游离脯氨酸含量($Fpro$)、可溶性糖含量($Ssug$)等测定结果平均值见表1。

表1　3种相思抗旱指标测定平均值

树种	处理	*EC*/%	*RWC*/%	*RWD*/%	*MDA*/(μg·g^{-1})	*Spro*/(mg·g^{-1})	*SOD*/(μg·g^{-1})	*POD*/(μg·g^{-1})	*Fpro*/(μg·g^{-1})	*Ssug*/(mg·g^{-1})
马占相思	CK	10.231	94.901	5.099	0.005	13.623	0.143	0.087	42.450	2.625
	中度胁迫	26.601	86.519	13.481	0.004	6.359	0.102	0.140	28.279	6.418
	严重胁迫	58.230	57.665	42.335	0.003	8.464	0.119	0.118	30.291	28.372
大叶相思	CK	6.636	99.485	0.515	0.006	23.955	0.210	0.121	50.300	8.243
	中度胁迫	24.906	77.938	22.062	0.005	7.235	0.039	0.499	25.797	18.627
	严重胁迫	78.411	58.938	41.062	0.005	7.787	0.148	0.040	29.543	38.319
厚荚相思	CK	22.848	86.049	13.951	0.005	19.166	0.208	0.056	57.779	5.173
	中度胁迫	28.995	82.507	17.493	0.004	5.967	0.093	0.295	20.905	15.094
	严重胁迫	78.898	55.776	44.224	0.006	6.179	0.279	0.031	18.631	22.839

2.1　干旱胁迫对3种相思叶片生理指标的影响

2.1.1　*对相对电导率的影响*　细胞膜是细胞与环境物质进行交换的主要通道,对维持细胞的微环境和正常的代谢起着非常重要的作用,逆境条件下的细胞膜相对电导率反映了膜的稳定性。由图1看出:随着胁迫程度的增加,3种相思叶片的相对电导率均呈增加趋势。没有进行水分胁迫时,马占相思、大叶相思、厚荚相思叶片的相对电导率分别为10.231%、6.636%、22.848%;经中度水分胁迫后,马占相思和大叶相思的相对电导率显著增加,分别达26.601%和24.906%,分别是对照的2.6倍和3.8倍,而厚荚相思仅为对照的1.3倍;经严重水分胁迫后,马占相思的相对电导率达58.230%,是对照的5.7倍,大叶相思的是对照的11.8倍,厚荚相思增加的幅度不大,仅为对照的3.4倍。

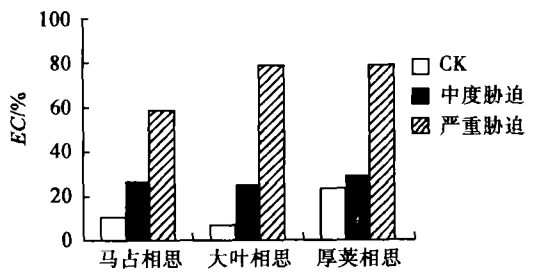

图1　干旱胁迫对3种相思叶片相对电导率(*EC*)的影响

2.1.2　*对相对含水量和水分亏缺的影响*　相对含水量(*RWC*)的多少反映植物保水和抗脱水的能力,水分亏缺(*RWD*)反映了植物体内水分亏缺的程度。在不同水分胁迫条件下比较各树种间的*RWC*、*RWD*和△*RWD*值,可以反映它们维持水分平衡能力的大小,从而在一定程度上体现树木间抗旱力的强弱。从图2可以看出:水分胁迫后3种相思的*RWC*都有所降低,严重水分胁迫后,马占相思、大叶相思、厚荚相思分别下降了39.24%、40.76%、35.18%,说明厚荚相思的抗脱水能力明显高于其它2个树种。从图3可以看出:在正常的水分条件下,3种相思的*RWD*都比较小,当受到水分胁迫时,各树种的*RWD*都呈明显的上升趋势,从总体上看,厚荚相思的△*RWD*明显小于其它树种,说明其具有较强的保水能力。

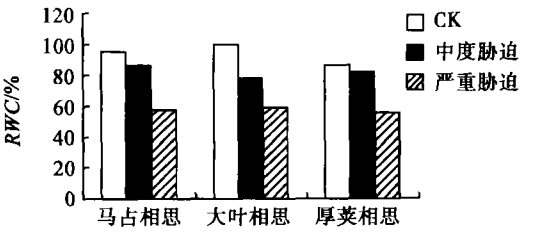

图2　水分胁迫对3种相思叶片相对含水量(*RWC*)的影响

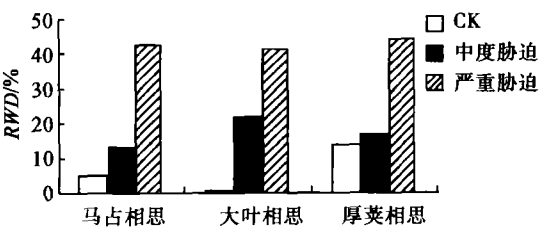

图3　水分胁迫对3种相思叶片相对水分亏缺(*RWD*)的影响

2.1.3　*对丙二醛含量的影响*　丙二醛是膜脂过氧化物,对细胞膜有毒害作用。3种相思幼苗经过水分胁迫后,叶片的丙二醛含量变化有所不同(图4),马占相思随着胁迫程度的加剧呈不断下降趋势,大叶相思和厚荚相思随着胁迫程度的加剧呈先下降后增加的趋势,且严重胁迫后厚荚相思叶片的丙二醛含量明显高于对照。

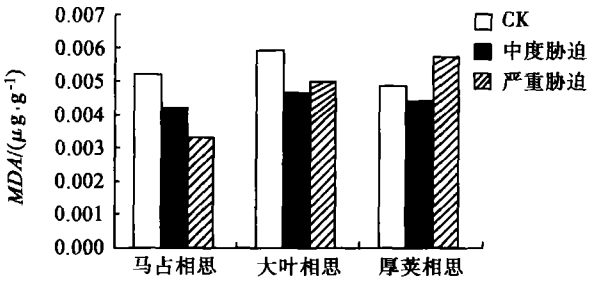

图4 水分胁迫对3种相思叶片丙二醛含量(*MDA*)的影响

2.1.4 对可溶性蛋白质含量的影响 可溶性蛋白质具有较强的亲水胶体性质,可影响细胞的保水力。从图5可以看出:中度水分胁迫后3种相思的可溶性蛋白质含量与对照比都明显降低,严重水分胁迫后3种相思的可溶性蛋白质含量与中度水分胁迫相比又略有增加,说明3个相思树种对干旱胁迫较为敏感,一旦经历水分胁迫就使得蛋白质合成受阻,或者蛋白质分解,导致可溶性蛋白质含量下降。

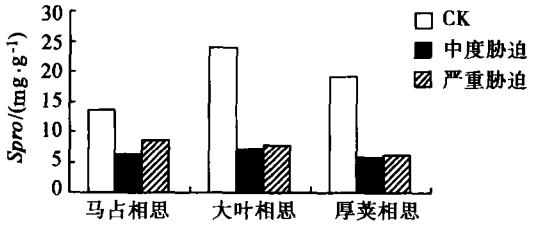

图5 水分胁迫对3种相思叶片蛋白质含量(*Spro*)的影响

2.1.5 对酶含量的影响 超氧化物歧化酶(*SOD*)和过氧化物歧化酶(*POD*)是细胞抵御活性氧伤害的膜保护系统,在清除超氧自由基、过氧化氢和过氧化物及阻止或减少羟基自由基形成方面起重要作用。它们的特殊功能是氧自由基的清除剂,在水分胁迫下,植物细胞自由基产生和清除的平衡遭到破坏,过剩的自由基会伤害细胞膜系统,因此*SOD*、*POD*的活性与植物的耐旱能力密切相关,其高低可以反映植物对干旱逆境抵御能力的大小。由图6、7可以看出,3种相思叶片的*SOD*和*POD*含量在不同水分胁迫处理下相对差异较大,*SOD*基本上呈中间低两边高的"漏斗"形,*POD*基本上呈中间高两边低的"山脊"形。

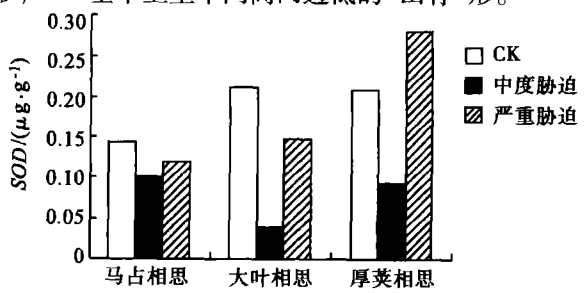

图6 水分胁迫对3种相思叶片超氧化物歧化酶(*SOD*)的影响

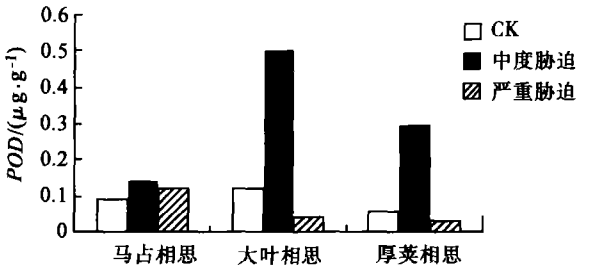

图7 水分胁迫对3种相思叶片超氧化物歧化酶(*POD*)的影响

2.1.6 对游离脯氨酸含量的影响 从图8看出:马占相思和大叶相思的游离脯氨酸含量都随着水分胁迫程度的加剧呈先下降后上升的趋势,厚荚相思呈持续下降趋势。

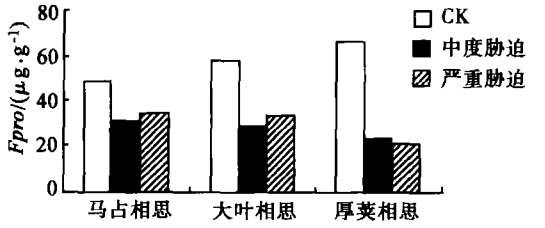

图8 水分胁迫对3种相思叶片游离脯氨酸含量的影响

2.1.7 对可溶性糖含量的影响 可溶性糖是植物体内的一种渗透调节剂,可以减缓干旱对其的伤害。图9表明:3种相思在不同水分胁迫下变化趋势大致相同,都随着胁迫程度的加深呈上升趋势。依据上升的幅度排序为:马占相思>大叶相思>厚荚相思。

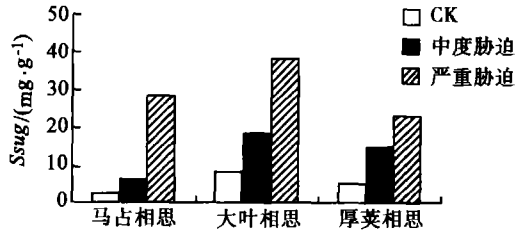

图9 水分胁迫对3种相思叶片可溶性糖(*Ssug*)的影响

2.2 抗旱指标的主成分分析

由于试验中测定的各个指标的单位不同,无法对它们进行直接的比较分析,故对表1的数据进行标准化处理,得到相关系数矩阵,再利用正交相似变换对相关系数矩阵进行对角化处理得到主成分的特征值和贡献率(表2)。

表2 主成分特征值和贡献率

主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
1	1 481.086 94	88.64	88.64
2	131.289 75	7.86	96.50
3	31.735 82	1.90	98.40

从表2看出:第一个主成分的特征值为1 481.086 94,方差贡献率为88.64%,代表了全部信息量的88.64%,已超过85%,因此取第一个主成分进行分析。根据主成分分析得出的特征值找到第一主成分,得到相思抗旱主成分方程:

$$Y_1 = 0.706\,714X_1 - 0.422\,522X_2 + 0.422\,522X_3 - 0.000\,005X_4 - 0.112\,056X_5 + 0.000\,285X_6 - 0.000\,832X_7 - 0.228\,995X_8 + 0.280\,195X_9$$

其中,Y代表主成分,X_1～X_9代表表1中的9个测定指标(因子),X前的系数是其规格化向量,即每个因子的得分。

在第一主成分中,将它的特征向量系数按照绝对值大小依次排列为:$X_1, X_2, X_3, X_9, X_8, X_5, X_7, X_6, X_4$。其中,$X_1$代表相对电导率的变量,它的载荷量最大为0.706 714;X_2和X_3代表相对含水量和相对水分亏缺的水分生理指标;X_8代表游离脯氨酸,X_9代表可溶性糖的变量,起渗透调节能力。因此可以看出,第一主成分主要由X_1(相对电导率)、X_2和X_3(水分指标)及X_8(游离脯氨酸)和X_9(可溶性糖)决定,综合反映了3种相思树种的抗旱能力。因此可认为该主成分是"渗透调节"性质的综合因子,这说明在干旱条件下,抗旱力强的植物可维持较多的水分,组织含水量比较高,且可溶性糖和游离脯氨酸含量也较高。

2.3　3种相思抗旱力比较

2.3.1　R型因子综合评定法　根据公式$\sum_{i=1}^{J}\lambda_i\mu_j$($\lambda$:主成分贡献率;$\mu$:相思树种的成分值;$j$:1～2)可以计算出3个相思树种的抗旱性大小(表3)。3种相思中以厚荚相思的抗旱能力最强,马占相思最不抗旱,大叶相思的抗旱性居中。

表3　第一、第二主成分值及抗旱性排序值

树种	第一主成分($\mu1$)	第二主成分($\mu2$)	抗旱性排序
马占相思	-6.309 43	-3.919 21	-5.90
大叶相思	-1.273 55	6.147 70	-0.64
厚荚相思	7.582 98	-2.228 49	6.55

2.3.2　欧几米德多向量综合评定法　采用多维空间(欧几米德)En多向量理论综合评定3种相思树种的抗旱性。先在每一个指标中找出最大的标准值,用其做除数分别除其他各数值,求得的商构成"矩阵坐标表",然后根据公式$P_i^2 = (1 - a_y)^2$(p:"矩阵坐标表"中商的离差;a:矩阵坐标;i:1～3;j:1～9)计算离差平方,最后按横行将各指标的离差平方求和,根据离差平方和的大小排出评价序号。离差平方和的值越小说明抗旱能力越强;反之,值大树种抗旱性差。将3种不同处理水平下的离差平方和取平均值进行3种相思树种抗旱性的综合排序,从表4～6可以得出:3种相思树种抗旱性能大小排序为:厚荚相思(0.604)>大叶相思(2.548)>马占相思(3.400)。

表4　CK综合评定

树种	*EC*	*RWC*	*RWD*	*MDA*	*Spro*	*SOD*	*POD*	*Fpro*	*Ssug*	离差平方和	评价序号
马占相思	0.305	0.002	0.403	0.016	0.186	0.102	0.079	0.070	0.465	1.628	3
大叶相思	0.503	0.000	0.928	0.000	0.000	0.000	0.000	0.017	0.000	1.448	2
厚荚相思	0.000	0.018	0.000	0.033	0.040	0.000	0.290	0.000	0.139	0.520	1

表5　中度胁迫综合评定

树种	*EC*	*RWC*	*RWD*	*MDA*	*Spro*	*SOD*	*POD*	*Fpro*	*Ssug*	离差平方和	评价序号
马占相思	0.007	0.000	0.151	0.010	0.015	0.000	0.516	0.000	0.430	1.129	3
大叶相思	0.020	0.010	0.000	0.000	0.000	0.379	0.000	0.008	0.000	0.417	2
厚荚相思	0.000	0.002	0.043	0.003	0.031	0.008	0.167	0.068	0.036	0.357	1

表6　严重胁迫综合评定

树种	*EC*	*RWC*	*RWD*	*MDA*	*Spro*	*SOD*	*POD*	*Fpro*	*Ssug*	离差平方和	评价序号
马占相思	0.069	0.000	0.002	0.174	0.000	0.331	0.000	0.000	0.067	0.643	1
大叶相思	0.000	0.000	0.005	0.015	0.006	0.220	0.435	0.001	0.000	0.683	2
厚荚相思	0.000	0.003	0.000	0.000	0.073	0.000	0.550	0.148	0.163	0.937	3

3 讨论

(1) 植物的抗旱性是由遗传因子和环境共同控制的一个复杂的数量性状,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耐旱性;但指标的选择也不是越多越好,为了全面准确地利用各指标对植物的抗旱性进行综合评价,克服单指标的不足,人们先后提出了隶属函数法、分级评价法、直接比较法[12,13]。本研究利用主成分分析法和欧几米德多向量综合评定法评价了3种相思的抗旱性,实验结果分析表明:3种相思抗旱性由强到弱的排序为:厚荚相思 > 大叶相思 > 马占相思。高度发达的栅栏组织是解剖上的抗旱性结构,马焕成等[14]对相思树种叶片解剖结构的研究中证明厚荚相思具有较厚的栅栏组织,从解剖结构上来说具有较强的抗旱能力,本实验从生理测定的角度对厚荚相思的抗旱力作了进一步验证。

(2)利用主成分分析确定了9个指标对抗旱性的贡献率,最终得出影响相思抗旱性的主要因子是与渗透调节有关的相对电导率、相对含水量、自然水分亏缺和可溶性糖、游离脯氨酸5个指标,其中相对电导率、相对含水量、自然水分亏缺可以作为研究相思抗旱性的主要指标。另外,王海珍等[15]在对辽东栎(*Quercus liaotungensis* Koidz.)、大叶细裂槭(*Acer stenolobum* Rehd. var. *megalophyllum* Fang et Wu)、虎榛子(*Ostryopsis davidiana* Decne.)、白刺花(*Sophora viciifolia* Hance)抗旱性研究中亦得到这个结论,故可以初步判定相对电导率、相对含水量、自然水分亏缺、可溶性糖、游离脯氨酸可以作为林木抗旱性的鉴定指标。

参考文献:

[1] 谢寅峰,沈惠娟,陈颖. 水分胁迫下抗旱剂对南方6种林木幼苗光合作用的影响[J]. 林业科技开发,2001,15(6):14 ~ 15

[2] 谢寅峰,沈惠娟,罗爱珍. 水分胁迫下南方四种针叶树幼苗水分参数的研究[J]. 南京林业大学学报,1999,23(1):41 ~ 44

[3] 谢寅峰,沈惠娟,罗爱珍,等. 南方7个造林树种幼苗抗旱生理指标的研究[J]. 南京林业大学学报,1999,23(4):13 ~ 16

[4] 高洁,叶洪刚,杨荣喜. 攀枝花干热河谷14个树种的耐旱性研究[J]. 西南林学院学报,1996,16(3):135 ~ 139

[5] 高洁,刘成康,张尚云. 元谋干热河谷主要造林植物的耐旱性评估[J]. 西南林学院学报,1997,17(2):19 ~ 23

[6] 白宝璋. 植物生理学测试技术[M]. 北京: 中国科学技术出版社,1993

[7] 李如亮. 生物化学实验[M]. 武汉: 武汉大学出版社,1998

[8] 朱广廉,钟海文,张爱琴. 植物生理学实验[M]. 北京: 北京大学出版社,1990

[9] 陈少良. 杨树种间耐旱性差异的生理生化基础研究[D]. 北京: 北京林业大学,1997:50 ~ 51

[10] 张殿忠,王沛洪,赵会贤. 测定小麦叶片游离脯氨酸含量的方法[J]. 植物生理学通讯,1990(4):62 ~ 65

[11] 黄少伟,谢维辉. 实用SAS编程与林业试验数据分析[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2001

[12] 龚明. 作物抗旱鉴定方法与指标的综合评价[J]. 云南农业大学学报,1989,5(1):73 ~ 81

[13] 黎裕. 作物抗旱鉴定方法与指标[J]. 干旱地区农业研究,1993,11(1):91 ~ 99

[14] 马焕成,Jack A. McConchie,陈德强. 元谋干热河谷相思树种和桉树类抗旱能力的分析[J]. 林业科学研究,2002,15(1):101 ~ 104

[15] 王海珍,梁宗锁. 黄土高原乡土树种抗旱生理指标的主成分分析[J]. 塔里木农垦大学学报,2004,16(1):13 ~ 15