

金沙江干热河谷区 8 个造林树种的生态适应性变化

李 昆, 孙永玉, 张春华, 崔永忠

(中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 云南 昆明 650224; 国家林业局云南元谋荒漠生态定位研究站, 云南 元谋 651300)

摘要:对金沙江干热河谷区 8 个造林树种的有关生理生态特性进行了研究。结果表明:相思类树种在旱季水分自然饱和亏缺较大,乡土树种坡柳和 3 种桉树则是雨季水分亏缺较大,具有 WSD 高而 RWC 低的植物同样具有很强的抗旱能力;比叶面积增大是植物提高抗旱能力的一个表现方面,但增加干物质积累、提高细胞质浓度也是途径之一;干热逆境可造成叶绿素含量降低,雨季叶绿素含量有较大提高,叶绿素 a/b 值也随之得到提高;参试树种的糖分含量旱季比雨季高,除马占相思外,其它树种淀粉与糖的比率则旱季比雨季低;在干热逆境胁迫下,7 个树种(除尾叶桉)的游离脯氨酸含量有不同程度增加,旱季植株易出现萎蔫现象,有部分或较多叶片脱落的树种积累的游离脯氨酸较多。除造林效果较差的马占相思与其它 7 个树种有较多差异外,造林效果较好的 7 个树种在生理生态变化方面有较多相似性;同时,同类树种间有明显的一致性;乡土树种坡柳则在某些方面更近似于相思类树种,在某些方面又近似于桉树类树种;除马占相思外,3 个相思类、3 个桉树类树种与乡土树种坡柳同样在金沙江干热河谷区表现出较强的生态适应性。

关键词:干热河谷;造林树种;生理生态

中图分类号:S728

文献标识码:A

Ecological Adaptability of Eight Tree Species in Dry and Hot Valley of Jinsha River

LI Kun, SUN Yong-yu, ZHANG Chun-hua, CUI Yong-zhong

(Research Institute of Resource Insects, Chinese Academy of Forestry, Kunming 650224, Yunnan, China;
Yuanmou Desert Ecosystem Research station, State Forestry Administration, Yuanmou 651300, Yunnan, China)

Abstract: The water ecophysiology of eight tree species growing in dry and hot valley of Jinsha River was studied. The result showed that in rain season the index of water saturation deficit (WSD) of indigenous tree species *Dodonaea viscosa* Jacq, and three eucalyptus species were higher than that of the other tree species. The plant with high WSD index and low relative water content (RWC) has strong drought tolerance. Enlargement of the rate of leaf area and fresh leaf weight is beneficial to enhance the drought tolerance of a plant, while increasing the accumulation of dry materials and the density of cytoplasm is also an effective way. Dry and hot stress may induce chlorophyll content reduced, while the chlorophyll content may increase in rainy seasons with increasing the rate of chlorophyll a and chlorophyll b. In dry seasons, the sugar content of test trees is higher than that in rainy seasons and the starch and sugar contents are lower in dry reasons than in rainy reasons except *Acacia mangium* De Willd. Under the arid condition, the free proline content of 7 tree species increased with different degrees except *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. The tree species which are prone to wither and defoliation in dry seasons can accumulate more free proline. There are more ecophysiological similarities among the seven tree species which are suitable for afforestation except *Acacia mangium* De Willd.; and there exists obvious consistency in ecophysiological characteristics among

收稿日期:2010-11-25

基金项目:林业公益性行业专项(201104002-3-2);“十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAD04)的研究内容

作者简介:李 昆(1958—),男,云南墨江人,研究员。

same genus. Some ecophysiological characteristics of *D. viscosa* Jacg., the indigenous tree species, are similar to that of *Acacia* and some others are similar to that of *Eucalyptus*. Three *Eucalyptus* species, three *Acacia* species and *D. viscosa* Jacg. showed stronger ecological adaptability and grow well in dry and hot valley of Jinsha River.

Key words: dry and hot valley; afforestation tree species; ecophysiology

我国西南横断山脉东侧属于背风坡下沉区,受冬半年的西风环流和夏半年的南来气流影响,山脉对季风进路的阻挡和焚风效应^[1],使金沙江流域海拔1 600 m以下河谷地区气候炎热干燥,降雨稀少,土壤干旱瘠薄;加上长期的人为干扰破坏,该地区森林遭受严重破坏后,形成以禾本科的扭黄茅(*Heteropogon contortus* (L.) P.)为主,杂以无患子科的灌木坡柳(*Dodonaea viscosa* Jacg.)、马鞭草科的黄荆(*Vitex negundo* Linn.)等灌木的稀树灌草丛植被类型,通常称之为干热河谷^[2-3]。干热河谷是我国造林极端困难的少数几个地区之一,又是退耕还林和天然林保护工程的重要实施区,由于气候炎热干旱,3~7年生人工造林幼树保存率不到40%,典型地段土壤侵蚀模数为1 400~1 500 t·km⁻²·年⁻¹,最大达12 000 t·km⁻²·年⁻¹,贯穿元谋盆地的龙川江年平均含沙量从20世纪60年代的4.47 kg·m⁻³增加到1990年的6.86 kg·m⁻³。

20世纪90年代开展长防林体系建设后,通过众多树种的实地造林筛选,金沙江干热河谷区选择出了一批适宜造林树种,对推动该地区的林业生态建设和环境治理发挥了重要作用,使该地区的造林保存率提高到70%以上。为了尽量减少筛选时间,大幅度降低工作量和投入成本,且科学准确地为生产应用提供适宜的植物材料,作者在旱季和雨季对长势良好,造林保存率较高的树种,测定其含水量、水分饱和亏缺、比叶面积变化、叶绿素含量、糖分、淀粉的含量及其变化、游离脯氨酸含量等生理生态指标,探讨不同造林树种在旱季和雨季的生理生态变化规律,为揭示这些树种抵抗干热逆境的性状与功能,并为该地区适宜造林树种的选择和定向培育提供可靠的理论依据,对加速长江上游退耕还林和天然林保护工程建设具有重要的现实意义。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

元谋盆地是典型的金沙江干热河谷区,地理位置为25°40'N,101°55'E。该地区干、湿季分明,气候炎热干燥,年平均气温21.9℃,≥10℃的年平均积

温7 996℃;年平均降水613.8 mm,雨季(6—10月)降水量占全年降水量的92%,年蒸发量3 944 mm,年平均相对湿度53%,年平均干燥度2.08。

试验在元谋县苴林乡岭庄村(距县城6 km)中国林科院资源昆虫研究所植被恢复与生态治理试验林地进行。试验林营造于盆地丘陵山地的东南坡中、下部,海拔1 170 m,坡度14°;燥红土,土层较深厚。造林前植被为以扭黄茅为主,杂以灌木坡柳的稀树灌草丛。撩壕整地(规格0.6 m×0.6 m),测定对象为营养袋百日苗造林的3年生幼树。

参试树种有台湾相思(*Acacia confuse* Merr.)、绢毛相思(*A. holosericea* A. Cunn. ex G. Don.)、大叶相思(*A. auriliformis* A. Cunn. ex Benth.)、马占相思(*A. mangium* De Willd.)、赤桉(*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.)、尾叶桉(*E. urophylla* S. T. Blake)、柠檬桉(*E. citriodora* Hook.)和乡土灌木树种坡柳。分别于2002年、2003年的3月下旬(旱季)、8月中旬(雨季),采集树冠中、上部小枝的第3~6片功能叶进行测定。

1.2 测定内容与方法

土壤水分为相对含水量,烘干法测定;自然饱和亏、保水力和恒质量时间等,分别采用实验室法^[4],然后按自然饱和亏=(自然鲜质量-干质量)/(饱和鲜质量-干质量)×100%,相对含水量=1-自然饱和亏(%)计算。保水力和恒质量时间的测定方法为把离体叶片悬挂在室内用千分之一电子天平定时测定(18 h时内每2 h称质量1次,18~32 h为每4 h称质量1次,以后每6 h称质量1次直至平衡质量),结果按失水占干质量的百分比进行计算^[5]。叶绿素含量采用乙醇提取法测定^[4];糖与淀粉含量采用蒽酮比色法^[4];游离脯氨酸含量测定采用茚三酮比色法^[6]。

2 结果与分析

2.1 试验林地土壤水分的年内各月变化情况

元谋盆地由于地势闭塞,海拔较低,四面有高山,自东南和西南方向来的暖湿气流到此已是强弩之末,越山后下沉至河谷产生增温减湿作用,即焚风

效应,不仅使盆地降水减少,大大增加河谷区的干热程度。据元谋县气象站多年的观测统计结果,全年平均降水量 613.9 mm,雨季一般开始于 6 月 3 日,从 11 月到翌年 5 月长达 7 个月的旱季,降水量仅占全年总降水量的 8.2%,全年最高月均温出现在 5

月。2002—2003 年 2 个雨季的降雨量差异较大(表 1),与同期降雨量多年平均观测值相比,前一年属多雨年份(为 133.0%),后一年属少雨年份(80.0%),尤其是在该地区降雨量最多的 7、8 月,2003 年的降雨量分别只有多年平均降雨量的 45.1% 和 22.3%。

表 1 元谋县气象站 5—10 月降雨情况观测结果

地点	月份	5	6	7	8	9	10	合计
	多年观测值	41.4	115.2	135.1	140.9	88.5	62.7	583.8
元谋县气象站	2002	155.3	129.6	136.4	229.3	77.5	48.1	776.2
	2003	89.3	168.8	60.9	31.4	88.5	28.2	467.1

从两年的观测结果(图 1、2)看:造林地和未造林地的土壤水分含量变化与降雨量多少紧密相关,未造林地的土壤水分在各个月份以及上下土层间的变化大于造林地,后者表层土壤含水量在旱季稍高于前者,但中、下层土壤水分含量在年间各月份均低于前者。据黄成敏等^[8]的研究,该地区大面积分布的普通燥红土凋萎湿度为 9.38%,2002、2003 年对造林地和未造林地土壤含水量的测定结果,只有未造林地 10~25 cm 表层土壤含水量在每年 1—5 月会低于上述凋萎湿度,其它土层和时间中的土壤含水量基本能满足植物的成活和生长需要,尤其 2003 年的少雨年份更证明了这一点。

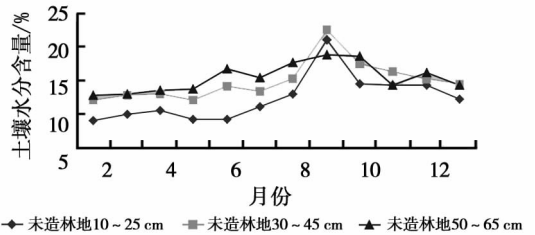


图 2 未造林地年土壤水分变化情况

2.2 水分自然饱和和亏缺与相对含水量比较

旱季水分自然饱和和亏缺较大的几个树种是绢毛相思、大叶相思,其亏缺量分别达 20.21% 和 27.06%,最大值与最小值(台湾相思)之差达 17.76%;雨季则缩小到 13.07%(表 2)。有些树种的水分亏缺在旱季和雨季的排序明显倒置,绢毛相思、大叶相思在干季是水分亏缺较大的树种,到雨季则亏缺较小;桉属树种和乡土灌木坡柳雨季生长旺盛,蒸腾作用强烈,其叶片水分亏缺比较大,旱季它们的蒸腾作用也比相思类树种强烈,但叶片的水分亏缺并不是很大,这可能与它们自身的水分平衡机制有关,桉属树种具有较强的适应性调节土壤水分消耗的能力。

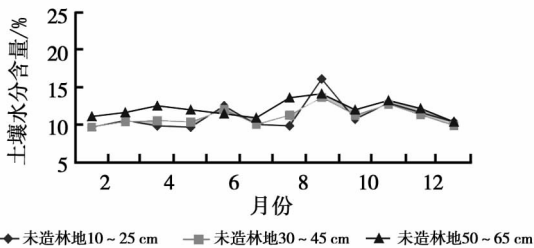


图 1 造林地年土壤水分变化情况

表 2 各树种叶片的水分状况测定结果

树种	3 月		树种	8 月	
	相对含水量/%	自然饱和和亏/%		相对含水量/%	自然饱和和亏/%
台湾相思	90.70 ± 9.21	9.30 ± 0.74	马占相思	98.55 ± 10.02	1.45 ± 0.15
马占相思	89.08 ± 10.00	10.92 ± 1.32	绢毛相思	97.29 ± 8.93	2.71 ± 0.25
柠檬桉	87.70 ± 7.88	12.30 ± 1.67	大叶相思	97.04 ± 9.21	2.96 ± 0.27
赤桉	83.85 ± 8.73	16.15 ± 1.88	台湾相思	95.97 ± 7.82	4.03 ± 0.39
尾叶桉	83.26 ± 6.97	16.74 ± 1.71	柠檬桉	91.67 ± 10.20	8.33 ± 0.92
绢毛相思	79.80 ± 8.12	20.21 ± 1.39	赤桉	91.37 ± 10.33	8.63 ± 0.89
大叶相思	72.91 ± 7.27	27.06 ± 2.18	尾叶桉	86.32 ± 9.32	13.68 ± 1.67
坡柳	81.29 ± 6.52	18.71 ± 2.10	坡柳	85.48 ± 8.87	14.52 ± 1.14

一般认为,水分饱和和亏缺(WSD)和相对含水量(RWC)反映了在水分不足和高温作用下,植物绿色

组织在蒸腾时耗水补充程度和恢复能力的差异,WSD 高而 RWC 低的树种较不抗旱,反之则更抗

旱^[7-8]。刘家琼^[9]在腾格里沙漠南缘对不同类型植物的研究分析后认为,梭梭(*Haloxylon ammodendron* (C. A. Mey.) Bunge)、沙拐枣(*Colligonum caput-medusae* Schrenk)、柠条(*Caragana korshinskii* Komar.)、木蓼(*Artemisia sphaerocephala* Krasch.)、花棒(*Hedysarum scoparium* Fish. et Mey)等十几种旱生植物的绿色组织具有RWC低、WSD高的特点。本研究结果与之接近,旱季RWC低、WSD高的树种具有较强的生态适应能力,造林成活率和保存率较高,植株长势良好;但目前究竟是植物的含水量还是水势对植物的生理活动和生命延存有较大影响仍存争论。

2.3 旱季、雨季叶子形态的适应性变化

在水分缺乏条件下生长的叶子通常比较厚而硬小,更强烈地分化成小叶型,比叶面积(叶表面积比叶子鲜质量)较小;但不同树种在同样干旱胁迫下所产生的变化不一样。在金沙江干热河谷区,柠檬桉、

坡柳、赤桉、尾叶桉、台湾相思等5个树种的比叶面积旱季均比雨季有所减小,减小幅度分别为17.78%、15.95%、13.95%、3.12%和1.24%;另外3个树种旱季的比叶面积反而比雨季大,分别为3.45%、11.15%和53.44%。3个树种中绢毛相思的叶子最特别,雨季水分充足时叶子反而变得更厚、更小(表2)。另外,各树种忍耐脱水的能力不一样,表现在旱季叶子烘干质量占鲜叶质量的比率各有差别,赤桉叶子烘干质量占鲜叶质量比例最大,达52.15%,大叶相思、绢毛相思、台湾相思、尾叶桉、柠檬桉等树种接近50%(表3)。这些结果说明,旱季比叶面积增大的树种可通过缩小蒸腾面积来减少水分消耗,达到抗旱的目的;但通过降低叶子萎蔫强度或增加干物质积累,提高细胞质浓度也是达到此目的的途径之一^[10-11]。

表3 旱季、雨季各树种叶子含水量

%

树种	旱季			雨季		
	占干叶质量	占鲜叶质量	比叶面积	占干叶质量	占鲜叶质量	比叶面积
马占相思	166.67 ± 15.47	62.39 ± 7.15	33.73 ± 3.71	281.68 ± 24.51	73.80 ± 7.99	32.61 ± 3.49
坡柳	141.72 ± 15.12	58.63 ± 5.52	38.45 ± 3.08	223.94 ± 18.59	69.13 ± 6.86	45.75 ± 4.46
大叶相思	132.79 ± 13.18	50.81 ± 4.91	39.10 ± 2.93	229.82 ± 19.19	69.68 ± 6.95	35.17 ± 3.12
绢毛相思	118.39 ± 10.23	54.27 ± 5.38	38.21 ± 2.98	277.22 ± 23.48	73.48 ± 7.71	24.99 ± 2.45
尾叶桉	113.76 ± 12.13	53.12 ± 5.32	61.86 ± 4.39	171.00 ± 17.17	63.10 ± 5.13	63.86 ± 5.61
柠檬桉	113.43 ± 12.00	53.32 ± 5.12	34.94 ± 2.80	192.06 ± 14.48	65.76 ± 5.08	42.49 ± 3.22
台湾相思	112.58 ± 10.55	53.18 ± 4.94	53.41 ± 3.69	195.07 ± 14.36	66.11 ± 5.76	54.08 ± 3.89
赤桉	97.98 ± 10.15	47.85 ± 5.17	42.86 ± 3.09	230.69 ± 16.08	59.75 ± 4.18	49.80 ± 3.47

2.4 叶绿素含量及其叶绿素 a/b 值变化

叶绿素含量及其 a/b 值,代表了植物的光合作用能力和光合作用的途径与性质,在水分胁迫下,叶绿素含量的变化可以指示植物对水分胁迫的敏感性^[12]。正常情况下,叶绿素含量阴叶比阳叶多,叶绿素 a/b 值一般在 2~3^[13]。刘锦荣^[14]对云南滇中高原十几个树种的研究也有多数树种叶绿素 a/b 值低于 2.0 的现象。本研究结果(表4)表明:参试树种的叶绿素 a/b 值普遍偏低,叶绿素含量则与前人研究相近,但随该地区的水分条件变化而变化,旱季叶绿素含量普遍低于雨季。说明旱季的高温干旱胁迫可能造成叶绿素含量和 a/b 值下降,到雨季随着水分条件的改善,植株生长又恢复正常,2个指标都有所提高。不过,叶绿素 a/b 值 ≥ 2.0 的树种只有柠檬桉、绢毛相思和尾叶桉。乡土树种坡柳在旱季叶绿素含量较高,到雨季有所下降,而且旱季坡柳的叶绿素 b 含量亦较高,a/b 值最低;雨季随叶绿素 a

含量相对增加,叶绿素 b 含量又相对减少,a/b 值增加又最多。这可能与该树种对干热逆境的长期适应有关,具有类似现象的其它树种也可能具有较强的抗旱能力。

2.5 糖和淀粉的含量及其变化

植物体内干物质的增加,糖分的积累和淀粉与糖比率降低等,是植物适应干旱环境的部分特征。这不仅能提高树木忍耐脱水的能力,在干旱条件下细胞内溶质的主动积累,可导致细胞渗透势下降,维持膨压,加强渗透调节,从而提高植物吸水能力^[16-17]。本研究测定结果(表5)表明:参试树种旱季的糖分含量都比雨季高,其中,增幅最大的是柠檬桉(349.39%),以后依次是坡柳(88.28%)、绢毛相思(74.75%)、尾叶桉(68.78%)、赤桉(64.50%)、台湾相思(44.85%)、马占相思(32.02%)和大叶相思(28.95%)。另外,有7个参试树种淀粉与糖的比率旱季比雨季低,旱季淀粉含量很少的柠檬桉和大

叶相思可认为降低了100%，其他依降幅大小排序是赤桉、尾叶桉、台湾相思、坡柳和绢毛相思，马占相思

则是雨季比旱季高，而该树种的造林成活率和保存率在8个参试树种中最低。

表4 旱季和雨季鲜叶叶绿素含量的变化

树种 species	旱季				雨季			
	叶绿素总含量/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	叶绿素 a/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	叶绿素 b/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	叶绿素 a/b	叶绿素总含量/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	叶绿素 a/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	叶绿素 b/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	叶绿素 a/b
赤桉	2.75 ± 2.64	1.51 ± 1.22	1.25 ± 0.08	1.21	3.78 ± 0.34	2.33 ± 0.25	1.45 ± 0.12	1.62
马占相思	2.66 ± 2.62	1.52 ± 1.79	1.51 ± 0.14	1.32	2.90 ± 0.25	1.85 ± 0.18	1.05 ± 0.09	1.77
坡柳	3.62 ± 4.10	1.43 ± 1.34	2.19 ± 0.23	0.65	2.75 ± 0.30	1.76 ± 0.16	0.99 ± 0.11	1.78
柠檬桉	2.60 ± 2.32	1.43 ± 1.21	1.17 ± 0.10	1.22	3.33 ± 0.31	2.23 ± 0.20	1.10 ± 0.87	2.03
台湾相思	2.55 ± 2.65	1.43 ± 1.11	2.12 ± 0.17	0.68	2.79 ± 0.31	0.99 ± 0.08	1.80 ± 0.16	0.82
绢毛相思	2.38 ± 2.31	1.52 ± 1.57	0.86 ± 0.08	1.77	3.73 ± 0.39	2.69 ± 0.24	1.04 ± 0.10	2.59
大叶相思	2.28 ± 2.02	1.47 ± 1.50	0.80 ± 0.07	1.84	3.05 ± 0.27	2.10 ± 0.17	0.95 ± 0.07	1.90
尾叶桉	2.01 ± 1.98	1.46 ± 1.33	0.55 ± 0.04	2.69	2.99 ± 0.27	2.22 ± 0.19	0.77 ± 0.43	2.90

注：表中数据为鲜样测定结果。

表5 不同树种在旱、雨季的糖和淀粉含量变化

%

树种	糖分			淀粉		淀粉/糖		淀粉/糖
	3月	8月	3月比8月增加	3月	8月	3月	8月	3月比8月降低
坡柳	13.33 ± 1.20	7.08 ± 0.69	88.28	2.68 ± 0.23	2.48 ± 0.27	20.00	35.00	42.86
尾叶桉	13.03 ± 1.32	7.72 ± 0.80	68.78	1.62 ± 0.15	2.35 ± 0.25	12.40	30.40	59.21
赤桉	11.73 ± 1.09	7.11 ± 0.69	64.98	0.90 ± 0.11	3.62 ± 0.37	7.60	51.00	85.09
柠檬桉	11.01 ± 9.87	2.45 ± 0.27	349.39	—	0.35 ± 0.10	—	14.30	100.00
绢毛相思	10.66 ± 1.11	6.10 ± 0.57	74.75	1.86 ± 0.17	1.62 ± 0.27	17.50	26.50	33.96
台湾相思	10.4 ± 1.02	7.18 ± 0.71	44.85	2.18 ± 0.20	3.28 ± 0.41	21.00	45.70	54.05
大叶相思	9.62 ± 8.82	7.46 ± 0.67	28.95	—	1.22 ± 0.20	—	16.40	100.00
马占相思	6.39 ± 0.62	4.84 ± 0.51	32.02	2.38 ± 0.27	1.43 ± 0.11	37.20	29.50	-26.10

2.6 旱、雨季不同树种的游离脯氨酸含量变化

对8个参试树种旱、雨季叶片中游离脯氨酸的测定结果(表6)表明：用干样和鲜样测定的结果一致，除尾叶桉外，在3月份的干热逆境胁迫下，其它7个树种叶片中游离脯氨酸含量都比8月的高，含量较高的树种有马占相思、绢毛相思、大叶相思、台湾

相思以及乡土树种坡柳，上述5个树种在雨季的游离脯氨酸含量和赤桉在旱季及雨季的游离脯氨酸含量一般在100~300 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 之间，与有关研究结果基本相同^[17-19]；而尾叶桉雨季样品的游离脯氨酸含量比旱季高，在旱季样品中还伴随有无游离脯氨酸存在的结果。

表6 旱季(3月)和雨季(8月)不同树种的游离脯氨酸含量

树种	游离脯氨酸含量(干样)/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)		3月/8月	游离脯氨酸含量(鲜样)/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)		3月/8月
	3月	8月		3月	8月	
马占相思	2 950.9 ± 446.3	262.0 ± 50.7	11.3	1 107.4 ± 265.1	68.6 ± 16.8	16.1
绢毛相思	926.7 ± 201.2	106.5 ± 24.9	8.7	423.8 ± 104.7	28.2 ± 5.7	15.0
大叶相思	975.1 ± 243.3	245.5 ± 43.6	4.0	556.2 ± 180.2	74.5 ± 17.3	7.5
台湾相思	959.6 ± 198.8	267.2 ± 67.3	3.6	449.3 ± 137.4	90.5 ± 20.0	5.0
坡柳	835.4 ± 169.7	88.7 ± 14.5	9.4	345.6 ± 93.6	27.4 ± 6.1	12.6
赤桉	200.4 ± 54.2	189.5 ± 39.8	1.1	104.5 ± 31.5	57.3 ± 7.7	1.8
柠檬桉	79.5 ± 16.5	52.8 ± 13.2	1.5	41.4 ± 10.0	18.1 ± 4.2	2.3
尾叶桉	29.6 ± 9.3	143.9 ± 16.6	0.2	13.9 ± 3.6	53.1 ± 12.3	0.3

注：表中数据为干样测定结果。

曹仪植^[20]的研究认为,在干旱胁迫下,对干旱敏感的小麦品种比更耐旱的品种能更快地积累脯氨酸,而较能忍耐干旱的品种反应更迟,不过时间持续更长。有些研究也表明^[19-20],不同植物种(或品种)积累脯氨酸的干旱胁迫程度不一样。汤章城^[21]引用 Boggess 的研究结果指出,正常叶片中脯氨酸确实抑制了它自身的合成,即反馈抑制作用;萎蔫叶片中的脯氨酸并不抑制自身的合成,由于萎蔫引起的脯氨酸合成对脯氨酸抑制作用的敏感性消失,所以萎蔫叶片中脯氨酸易于积累。Stewart 等人还发现萎蔫的大麦叶片中脯氨酸氧化的中间产物还会逆转为脯氨酸,反而增加脯氨酸含量。Hanson 等人^[20,22-23]的研究也认为,在干旱胁迫下,对干旱敏感的禾谷类品种比不敏感品种的脯氨酸积累速度更快,数量更多。分析本研究参试的8个树种与游离脯氨酸含量的关系,与上述学者的研究结果非常相似,旱季植株易出现萎蔫现象,有部分或较多叶片脱落的树种积累较多的游离脯氨酸;反之,植株很少出现萎蔫现象,叶片脱落也很少的3种桉树积累的游离脯氨酸也少。考察参试的8个树种,有1个是大量分布于该地区的乡土灌木树种坡柳,6个树种的造林保存率超过80%,植株长势良好,马占相思的造林效果最差,保存率不到10%。结果说明,在金沙江干热河谷区游离脯氨酸的积累不反映树种间抗旱能力的差异,即用游离脯氨酸作为植物抗旱性指标有一定的局限性,游离脯氨酸的积累速度和数量与抗旱性之间不存在一个简单的相关关系。不过,它反映了不同树种对干热逆境的敏感程度,用它作为该地区拟造林树种在干热逆境胁迫时,植物体发生变化的一个比较敏感的参数或指标是比较适合的。

3 结论

(1)8个参试树种中,相思类树种在旱季水分自然饱和亏缺较大,乡土树种坡柳和3种桉树反而是在雨季水分亏缺较大;WSD低而RWC高的植物抗旱,这是仙人掌类肉质植物的特点,而本研究结果是具有WSD高而RWC低的植物同样具有很强的抗旱能力。

(2)柠檬桉、坡柳、赤桉、尾叶桉、台湾相思等5个树种的比叶面积旱季均比雨季有所减小,马占相思、大叶相思和绢毛相思旱季的比叶面积反而比雨季大。说明,旱季比叶面积增大的树种可通过缩小蒸腾面积来减少水分消耗,达到抗旱的目的,但通过

降低叶子萎蔫程度或增加干物质积累,提高细胞质浓度也是抗旱的途径之一。

(3)无论旱季还是雨季,干热河谷地区生长的树种叶绿素a/b值普遍偏低。干热逆境可能造成叶绿素含量降低,使叶绿素a遭到破坏,叶绿素a/b值偏低,随着水分条件改善,叶绿素总含量会得到较大提高,叶绿素a含量也会有较大幅度的增加,从而使叶绿素a/b值得到提高。

(4)8个参试树种旱季的糖分含量都比雨季高;马占相思淀粉与糖的比率是旱季比雨季高,另外7个树种淀粉与糖的比率则是旱季比雨季低,而马占相思的造林保存率最低。

(5)除尾叶桉外,在3月份的干热逆境胁迫下,其它7个树种叶片中游离脯氨酸含量都比8月份雨季的高,旱季植株易出现萎蔫现象,有部分或较多叶片脱落的树种积累较多的游离脯氨酸。造林效果最差的马占相思积累最多的游离脯氨酸,而保存率高,生长良好的尾叶桉却是雨季积累的游离脯氨酸含量更多。说明游离脯氨酸的积累速度和数量与抗旱性之间不存在一个简单的相关关系,但是该指标反映了不同树种对干热逆境的敏感程度。

(6)分析参试树种的有关观察测定指标发现:除造林效果较差的马占相思与其它7个树种有较多差异外,造林效果较好的7个树种还是具有较多的相似性(如旱季水分亏缺较大,糖分自动积累、淀粉与糖比率下降,雨季叶绿素a/b值大幅度提高等因素之间明显相关);同时,同类树种之间(如相思类、桉树类)具有明显的一致性,与另类树种间有比较明显的区别;而乡土树种坡柳则在某些方面更近似于相思类树种(如积累游离脯氨酸),在某些方面又更近似于桉树类树种(如叶子形态、水分饱和和亏缺)。从各树种的造林效果看,大叶相思、绢毛相思、台湾相思、柠檬桉、赤桉、尾叶桉与乡土灌木树种坡柳一样,在金沙江干热河谷区表现出较强的生态适应性。

参考文献:

- [1] 刘方炎,李 昆,孙永玉,等.横断山区干热河谷气候及其对植被恢复的影响[J].长江流域资源与环境,2010,19(2):1386-1391
- [2] 周 跃.元谋干热河谷植被的生态及其成因[J].生态学杂志,1987,6(5):39-43
- [3] 金振洲,欧晓昆.元江、怒江、金沙江、澜沧江干热河谷植被[M].昆明:云南大学出版社,2000:8-12
- [4] 孔艳菊,孙明高,魏海霞,等.土壤盐分及干旱胁迫对皂角幼苗生长和叶片保水力的影响[J].河北农业大学学报,2007,30(1):39-44

- [5] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006
- [6] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 高等教育出版社, 2003; 258 - 261
- [7] 王玉魁, 阎艳霞, 余新晓, 等. 干旱胁迫下灰白滨藜保护酶活性及抗旱生理特性研究[J]. 干旱区研究, 2010, 24(10): 122 - 126
- [8] 黄成敏, 何毓容. 云南省元谋干热运河谷的土壤抗旱力评价[J]. 山地研究, 1995, 15(2): 79 - 84
- [9] 刘家琼. 我国沙漠中部地区主要不同生态类型植物的水分关系和旱生结构比较研究[J]. 植物学报, 1987, 29(6): 662 - 673
- [10] Magan B. Hari srivastava and Chhail lal. Biomass plantation and farm forestry: choice of Eucalyptus species: Environmentalist versus foresters[J]. Indian Journal of Forestry, 1989, 12(4): 247 - 254
- [11] 杨 俊, 马 健, 王婷婷, 等. 5 种荒漠植物抗旱性及其与抗旱指标相关性的定量评价[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(6): 143 - 146
- [12] 井春喜, 张怀刚, 师生波, 等. 土壤水分胁迫对不同耐旱性春小麦品种叶片色素含量的影响[J]. 西北植物学报, 2003, 23(5): 811 - 814
- [13] P. J. 克累默尔著(汪振儒等译). 树木生理学[M]. 北京: 科学出版社, 1985
- [14] 刘锦荣. 云南高原几种树木叶绿素含量的比较分析[J]. 西南林学院学报, 1989, 9(1): 14 - 19
- [15] P. 金仕明著(文剑平等译). 森林生态学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992
- [16] 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 - 16
- [17] 史玉炜, 王燕凌, 李文兵, 等. 水分胁迫对刚毛柞柳可溶性蛋白、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
- [18] 刘建新, 赵国林. 干旱胁迫下骆驼蓬抗氧化酶与渗透调节物质的变化[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(5): 127 - 131
- [19] 杨明博, 杨九艳. 鄂尔多斯高原不同生境下中间锦鸡儿(*Caragana davazameii*) 叶片的游离脯氨酸、丙二醛含量以及 POD 活性的变化[J]. 内蒙古农业大学学报: 自然科学版, 2005, 36(2): 192 - 196
- [20] 曹仪植. 水分胁迫下植物体内游离脯氨酸的累积及其 ABA 在其中的作用[J]. 植物生理学报, 1985, 11(1): 9 - 16
- [21] 汤章城. 植物对水分胁迫的反应和适应性(II. 植物对干旱的反应和适应性)[J]. 植物生理学通讯, 1983(4): 1 - 7
- [22] Hanson A D, Nelesn C E, Everson E H. Evaluation of free proline accumulation as an index of drought resistance using two contrasting barely cultivation[J]. Crop sci, 1977, 17: 720 - 726
- [23] LLahi L, Corffling K. Changes in abscisic acid and proline level in maize varieties of different drought resistance[J]. Physio plant, 1982, 55: 129 - 135