

岷江上游干旱河谷四种灌木的抗旱生理动态变化

黎燕琼¹, 刘兴良¹, 郑绍伟¹, 陈泓^{2,1}, 岳永杰³, 慕长龙^{1,*}, 刘 军²

(1. 四川林业科学研究院, 成都 610081 2. 四川农业大学林学院园艺学院 雅安 625014 ;

3. 北京林业大学水土保持学院, 北京林业大学教育部水土保持重点实验室, 北京 100083)

摘要 岷江上游干旱河谷是我国最困难的造林地区之一。该实验以杂谷脑河干旱河谷区域内, 自然生长的白刺花 (*Sophora davidiana*)、刺旋花 (*Convolvulus tragacanthoides*)、马鞍羊蹄甲 (*Bauhinia faberi* var. *microphylla*) 和铁杆蒿 (*Artemisia gmelinii*) 为研究材料, 对其抗旱生理及其抗旱性动态进行了分析研究。结果表明: (1) 干旱胁迫下, 灌木体内叶绿素、可溶性糖以及游离脯氨酸含量增加; 同时, 叶片组织失水率、水分亏缺度、细胞膜透性的降低, 以增加灌木的抗旱性。 (2) 通过隶属 (反隶属) 函数法对 4 种灌木抗旱能力动态变化进行综合评价, 几种灌木生长季节的抗旱性综合评价指数 7 月份为 0.507 最高, 其次 9 月份 > 8 月份 > 6 月份 > 5 月份最低, 仅为 0.442。这为了解植被在该地区抗旱性动态变化趋势, 以及为在植物抗旱性最弱的生长时期——5、6 月份, 采取有效防旱抗旱措施, 提高造林树种的成活率与保存率, 加快该地区植被的恢复与重建进程提供理论依据。

关键词 灌木, 生理动态, 抗旱性, 综合评价

文章编号: 1000-0933 (2007) 03-0870-09 中图分类号: Q948.5718 文献标识码: A

Drought resistant physiological characteristics of 4 shrub species in arid valley of MinJiang River

LI Yan-Qiong¹, LIU Xing-Liang¹, ZHENG Shao-Wei¹, CHENG Hong^{2,1}, YUE Yong-Jie³, MU Chang-Long^{1,*}, LIU Jun²

¹ Sichuan Academy of Forestry, Chengdu 61008, China

² Forestry and Horticulture college of Sichan Agricultural University, Ya'an 625014, China

³ College of Water and Soil Conservation, BFU Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Combating desertification, Ministry of Education, Beijing 100083, China

Acta Ecologica Sinica 2007, 27 (3): 870 ~ 878.

Abstract: Due to the fohn, there are 161 km of arid valley (170 km²) in Mingjiang River. The higher evaporation and transpiration (1400–2000 mm annually), lower precipitation (400–700 mm annually), steep slope and infertile soils result in a atrocious condition for vegetation in the arid valley. Vegetation is dominated by xerophil shrubs and grasses. However they are playing a significant role in the soil and water conservation in the watershed, and provide important references for "Grain for Green" (converting farmland to forest/grass land) campaign in the arid valley as it is very difficult to grow trees. Drought-resistant physiological characteristics of four native species i. e., *Sophora davidiana*, *Bauhinia faberi* var. *microphylla*, *Convolvulus tragacanthoides* and *Artemisia gmelini* lochmodophilus have been measured. It was found that

基金项目: 国家退耕还林工程区干旱河谷造林技术研究与示范资助项目 (2001BA510B03)

收稿日期: 2005-12-15; 修订日期: 2006-09-20

作者简介: 黎燕琼 (1979–), 女, 土家族, 重庆石柱人, 主要从事森林生态学研究. E-mail: lxlyq1979@yahoo.com.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: Mucl2006@yahoo.com.cn

Foundation item: This work was financially supported by research on afforestation technology in the Defarming and Reafforestation project region of arid valley

Received date 2005-12-15; **Accepted date** 2006-09-20

Biography: LI Yan-Qiong, mainly engaged, Major in plant physiological ecology. E-mail: lxlyq1979@yahoo.com.cn

The content of Chl free Pro ,soluble sugars increased and evaporation ratio ,WSD ,RWC and cytolemma osmosis decreased under the drought stress ;Integrated assessment on the drought resistant index of four species indicated that the integrated drought resistant index was highest in July (0.507) ,followed by September ,August ,June. It was lowest in May (0.442). The result provided a basis for the vegetation restoration especially improving survival of planted species in May and June during which species has weakest drought resistant.

Key Words : shrub ; physiological characteristics ; drought-resistance ; integrated assessment

岷江干旱河谷不仅包括主要干道汉川县飞沙关到茂县石大关河谷 ,还包括岷江的两条主要支流杂谷脑河及黑水河谷的河谷地 ,旱河谷总长度为 161km ,总面积达 170km² [1]。受“焚风效应”的影响 ,河谷内蒸发量远大于降雨量 ,土壤严重干旱缺水是该地区的主要自然特点 ,加之山体陡峭、土壤瘠薄、地层破碎、水土严重流失 ,河谷内生态环境十分脆弱 ,植被主要以干旱灌草丛为主。近代以来随着人口的急剧增长 ,人类对土地压力增大 ,使该区域的植被和森林遭受严重破坏 ,过度放牧 ,毁林开荒 ,使干旱河谷的范围向上 ,向下不断扩展 ,致使该区域形成了荒漠景观。在水资源严重亏缺的干旱半干旱地区解决造林成活率、保存率 ,加强该区域的植被恢复 ,扩大森林资源 ,改善生态环境 ,减少灾害 ,是本世纪亟待解决的重大问题 ,也是西部大开发与生态环境建设必需解决的重大课题。目前对该地区植被研究很多 ,但主要是针对植物群落分布类型与生物量及其与环境的关系等从宏观上进行研究 [2~5]。本试验主要是针对杂谷脑干旱河谷区自然生长的 4 种灌木在生长季节的生理动态与抗旱性关系进行研究 ,为该地区在植被恢复与重建过程中对造林树种适时采取有效措施 ,提高造林的成活率与保存率提供理论依据。

1 研究区域概况及研究方法

1.1 研究区域概况

试验地位于杂谷脑河流域的干旱河谷地区内理县薛城小歧山上 ,海拔 1350 ~ 1450m ,东经 103°15'24.2" ,北纬 31°31'43.1" ,西北坡 ,坡度 40° ,下坡位。该地区年均气温 11.0℃ ,≥0℃ 年积温 3800 ~ 4500℃ ,无霜期 190d ,≥10℃ 活动积温 3200 ~ 43800℃ ,年降水量一般在 500 ~ 700mm ,年蒸发量 1 400 ~ 2 000mm ,蒸发量为降水量的 2 ~ 4 倍 ,其亏损量达 700 ~ 1500mm ;土壤水分严重亏缺 ,年干燥度 1.6 ~ 2.5。由于该地区气候条件恶劣 ,尤其干旱缺水 ,植物种群结构单一 ,植物个体多具有丛生、根深、叶小、具刺、被毛、低矮或匍匐等耐旱特点 ,并且种类贫乏 ,层次结构简单 ,植物种类主要以灌木和草本为主 ,灌木主要有白刺花、马鞍羊蹄甲、刺旋花、铁杆蒿、蔷薇 (rose) 等 ,灌木层高度在 0.15 ~ 1.0m 之间 ,盖度 8% ;草本主要有异颖芨芨草 (*Achnatherum heteropogon*)、青海固沙草 (*Orimus kokonorica*)、细柄草 (*Capillipedium parviflorum*)、甘肃臭草 (*Melica przewalskyi*)、芸香草 (*Cymbopogon distns*)、芦苇 (*Phragmites communis*) 等 ,平均高度 40cm ,盖度 45%。林地土层厚度为 50cm ,石砾含量 30% 左右 ,土壤为褐色沙壤。

表 1 试验地气象因子及土壤含水量动态变化

Table 1 Climatic factor and Soil water content of test area

因子 Indices	月份 Month						
	4	5	6	7	8	9	10
降雨量 Rainfall (mm)	69.2	64	44.5	64.4	86.6	84.1	87.2
蒸发量 Vaporizing (mm)	149.4	174	161.1	184.5	173.3	159.8	109.1
土壤含水量 Soil water content (%)	10.12	13.07	11.44	11.88	13.40	12.04	16.65

数据来源于“2001BA510B03”土壤水分研究部分内容 Data was a part of study on soil water content of “2001BA510B03”

1.2 研究方法

1.2.1 材料与取样方法

选择在小歧山上 ,多年 ,自然生长的白刺花、刺旋花、马鞍羊蹄甲、铁杆蒿 4 种灌木 ,其中白刺花灌丛平均

高 0.8 ~ 1.0m ,灌幅 1.0 ~ 1.2m² 刺旋花灌丛平均高 0.3 ~ 0.5m ,灌幅 0.6 ~ 0.8m² ;马鞍羊蹄甲灌丛平均高 0.8 ~ 1.0m ,灌幅 1.0 ~ 1.2m² 铁杆蒿灌丛平均高 0.8 ~ 1.0m ,灌幅 0.8 ~ 1.0m² 。每种选择生长势一致的 3 ~ 5 丛 ,于晴天 7:30 ~ 8:30 进行取材 ,分别选取树冠外围中上部分 ,大小一致 ,向阳面的当年生的成熟叶片 ,迅速放入材料袋后装入取样箱 ,带回实验室备用 ,每次 4 个重复。取样时间从 2005 年 5 月到 9 月 ,每月下旬进行取样。

1.2.2 实验分析及数据处理

叶片相对含水量和自然饱和亏缺采用浸泡法 ,自然饱和亏缺 = 1 - 相对含水量 ,含水量采用烘干法 ;自由水 = 含水量 - 束缚水 ,束缚水含量采用阿贝折射仪法 ;失水率 :在室内自然干燥 (25℃ 左右 ,空气相对湿度 70% 左右) ,取鲜叶后 ,定时称量直到基本恒重 ,并计算每一晾晒时刻累积失水量占总水量的百分比^[8] 。干旱不仅会对林木叶片内水分含量 ,分配以及水分的保存形式造成差异 ,还会对细胞结构及内涵物造成影响 ,为确定其影响 ,还测定了在相同条件下叶片的伤害度 ,可溶性糖 ,可溶性酸和叶绿素含量及叶绿素 a/叶绿素 b。叶绿素采用丙醇乙酮混合液法 ,可溶性糖采用蒽酮比色法^[6] ;游离脯氨酸采用茚三酮法 ,细胞膜透性采用外渗电导法^[7] 。

数据处理采用 SPSS12.0 程序在计算机上进行。

2 结果与分析

2.1 叶片自然水分饱和亏缺度与相对含水量

岷江上游干旱河谷 4 种灌木叶片自然饱和亏缺度与相对含水量动态变化有差异 (图 1) 。白刺花、刺旋花、马鞍羊蹄甲的叶片自然饱和亏缺度 6 月份达到最高 ,分别为 27.08%、37.68%、34.39% ,9 月份最低 ,分别为 15.12%、14.22%、19.41% 。铁杆蒿 7 月份最高 ,达到 44.53% ,也是这 4 种灌木全年的最高水分亏缺点 ;9 月份最低 ,为 18.07% 。这 4 种灌木的叶片自然饱和亏缺度平均大小排序为 6 月份 > 5 月份 > 7 月份 > 8 月份 > 9 月份。叶片相对含水量大小排序则与亏缺度刚好相反 ,白刺花、刺旋花、马鞍羊蹄甲 3 种灌木 9 月份最高 ,分别为 84.88%、85.87%、80.59% ,6 月份最低 ,分别为 72.92%、62.32%、65.61% ;铁杆蒿 9 月份最高 ,为 81.93% 。水分相对含水量平均 6 月份最低 ,其次 5 月份 < 7 月份 < 8 月份 ,9 月份最高。根据方差分析 (表 2) 表明 :叶片水分亏缺度在不同生长季节有显著性差异 ($p < 0.05$) ,多重比较 LSD 检验表明 (图 1) 5 月份与 9 月份 ,6 月份与 8 月份、9 月份有显著性差异。同时 ,叶片相对含水量也有显著性差异 ($F(2.918) > P_{0.05}(0.057)$) ;经 LSD 检验表明 5 月份与 8 月份、9 月份存在显著性差异。

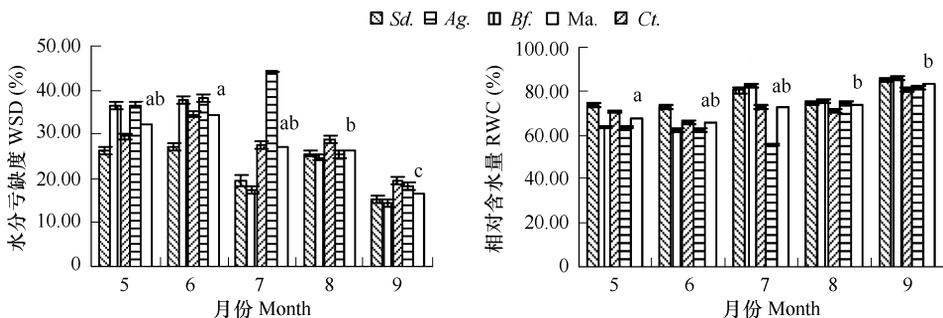


图 1 叶片水分叶片自然水分饱和亏缺度与相对含水量

Fig. 1 Water saturation deficit (WSD) and relative water content (RWC) of leaves

Sd-Sophora davidiana Bf-Bauhinia fabri var. microphylla Ct-Convulvulus tragacanthoides Ag-Artemisia gmelinii Ma-month average ,下同 the same below 图上字母为月平均值多重比较结果 ,相同字母表示没有显著性差异 ,不同字母有显著性差异 Letters were result about multiple comparisons (LSD) in chart ,same letters means no marked difference ,differ letters means marked difference

林木水分自然饱和和亏缺度表明其体内水分亏缺的程度 ,它反映了林木受旱的程度。植物自然饱和和亏缺度越小 ,相对含水量就越大 ,它的抗旱能力越强^[9,10] 。5、6 月份 ,灌木叶片组织干物质的不断积累 ,代谢增强 ,需

水量增加,却因该地区土壤严重缺水导致叶片自然饱和亏缺度增加,相对含水量减少。6月份到7、8月份是该地区植物生长代谢最旺盛时期,叶片成熟,植物本身的一些特点,如叶片蜡质化、被毛等结构的完善,减少了植物叶片水分的散失,使叶片水分饱和亏缺度与相对含水量相对维持在一定水平。9月份下旬叶片开始老化,各种代谢减弱,需水量减少,叶片自然饱和亏缺度为全年最低,相对含水量达到最高。同时,6、7月份,土壤含水量最低,但随着干旱时间的延长,灌木亏缺度逐渐降低,以增强其抗旱性。

2.2 叶片含水量与束缚水/自由水及其季节变化

灌木叶片含水量与束缚水/自由水随生长季节变化表明(图2),5月叶片含水量最高,其次6月份>7月份>8月份>9月份最低,方差分析(表2)与多重比较表明($p < 0.05$)5月份与8月份、9月份之间有显著性差异,叶片束缚水/自由水随季节的变化逐渐增加,排序为9月份>8月份>7月份>6月份>5月份,但相互间没有显著性差异。

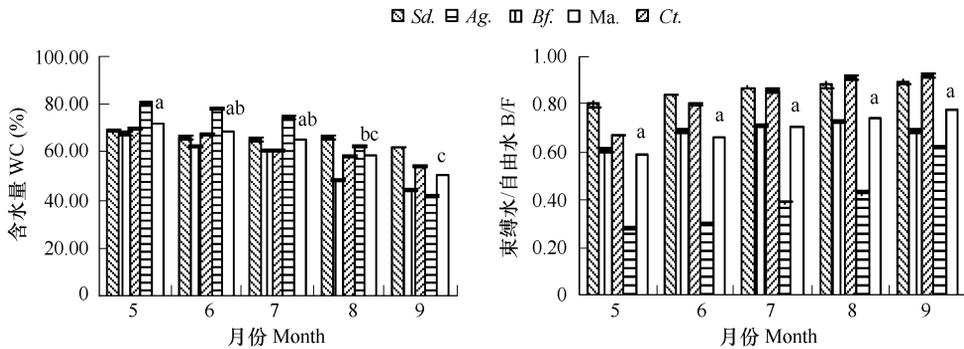


图2 叶片含水量和束缚水/自由水

Fig. 2 Water content (WC) and bound water/free water (B/F) of leaves

植物含水量是反映植物组织水分生理状况的重要指标,一般来说植物组织含水量的多少与其生命活动强弱有一定关系,在一定范围内组织的代谢强度与其含水量成正相关^[6,11],植物组织的含水量越高,其吸水能力越强,在干旱条件下抗旱能力越强^[12]。植物组织的水分为束缚水(由细胞胶体颗粒与其他亲水物质结合,不容易蒸发散失和冻结)和自由水(未被水合作用束缚,易蒸发散失的水);自由水越多,束缚水/自由水越小,植物代谢越旺盛,生长越快;反之,束缚水越多,束缚水/自由水越大,植物抗旱性就越强^[6,13,14]。6月份试验地土壤含水量最低,4种灌木叶片含水量高,其抗旱性强,生长后期虽然土壤含水量相对增加,但叶片衰老导致生长代谢降低,叶片含水量也相对降低,其抗旱性降低。该地区灌木叶片束缚水/自由水动态变化与其年生长发育周期相一致。5、6月份叶片生长代谢强,灌木叶片内自由水的相对含量高,束缚水/自由水小,抗旱性低,随着灌木叶片的成熟,生长代谢逐渐降低,组织内自由水含量降低,束缚水/自由水增加,灌木的抗旱性也逐渐增强。

2.3 叶片24h失水率

4种灌木叶片24h失水率随叶片的生长逐渐减小,但树种间有差异(图3)。白刺花和刺旋花5月份24h失水率最大,8月份最小;冯鞍羊蹄甲、铁杆蒿也以5月份最大,7月份最小。按照叶片24h失水率高低排序为5月份>6月份>7月份>8月份>9月份,方差分析(表2)及多重比较结果($p < 0.05$)表明(图3)5月份与8、9月份存在显著性差异。

自由水容易蒸发散失,而水分过度的蒸发与散失会造成植株的萎蔫甚至死亡,所以保水是植物对干旱最早最主要的反应。林木单位时间内失水量越多,失水率越

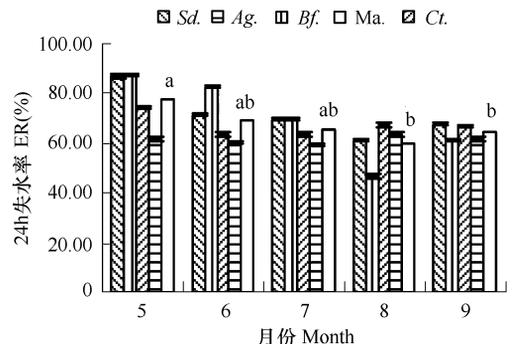


图3 离体叶片24h失水率

Fig. 3 Evaporated ratio (ER) of 24h removed leaves

大,则保水能力越差,抗旱性越低;反之,失水率越小,保水能力越大,抗旱性越强^[7]。未成熟叶片的角质层薄,其表面蜡质化程度以及绒毛等覆盖物发育不完善,可能是造成5月份灌木叶片24h失水率最大,保水能力最弱的原因。从叶片失水率看,5月份土壤含水量相对最高,叶片24h失水率却最高,灌木在此时的抗旱性最低。

2.4 细胞膜透性

4种灌木细胞膜透性季节变化差异较大(图4),刺旋花与马鞍羊蹄甲的细胞膜透性大小排序为6月份>7月份>8月份>9月份>5月份;铁杆蒿也以8月最大,其次6月份>9月份>7月份,5月份最小。这4种灌木细胞膜透性变化趋势与水分亏缺度一致,即6月份为转折点,由逐渐增加到逐渐减少的过程,大小排序为6月份>7月份>8月份>5月份>9月份。经方差分析(表2)与多重比较($p < 0.05$)表明(图4)5月份和9月份叶片伤害度大小分别与6、7月份有显著性差异。林木在干旱胁迫下,其原生质破坏,细胞内电解质外渗,导致组织浸出液电导率增加,透性变化越大,表示林木受害越重,抗旱性越弱^[15]。白刺花等4种灌木在生长季节前期,随着土壤含水量的降低,以及对其干旱胁迫的加剧而导致它们细胞膜透性的增加,抗旱性降低;随着干旱胁迫的延续(7、8月份),灌木的细胞膜透性增加,其抗旱性也增加。

2.5 叶绿素含量与叶绿素 a/叶绿素 b

叶绿素是植物把无机C、N转变成有机C、N的重要介质,是反映植物光合作用能力及营养作用的重要指标之一,同时由于叶绿素本身是C、N、Mg等元素组合成的有机化合物,它的水平反映了植物C、N营养水平。林木抗旱研究中常把叶绿素含量及叶绿素 a/叶绿素 b (a/b)作为评价指标^[16]。4种灌木的叶绿素含量及 a/b(图5)表明,白刺花、铁杆蒿叶绿素含量6月份最高,刺旋花、马鞍羊蹄甲7月份最高,9月份最低,灌木叶绿素平均含量大小排序为6月份>7月份>8月份>5月份>9月份。a/b的动态变化在不同灌木间有差异,白刺花 a/b 8月份最高,其次9月份>7月份>6月份,5月份最低;马鞍羊蹄甲、铁杆蒿 a/b 大小排序为8月份>7月份>9月份>6月份>5月份;刺旋花的 a/b 则以7月份最高,其次8月份>9月份>6月份,5月份最低;灌木 a/b (平均)大小排序也以7月份最高,其次6月份>8月份>9月份,5月份最低。经方差分析(表2)与经LSD检验($p < 0.05$)表明(图5)叶绿素含量6、7月份均与9月份有显著性差异, a/b 除7月份与8月份之间没有显著性差异外,其它月份间都有显著性差异。

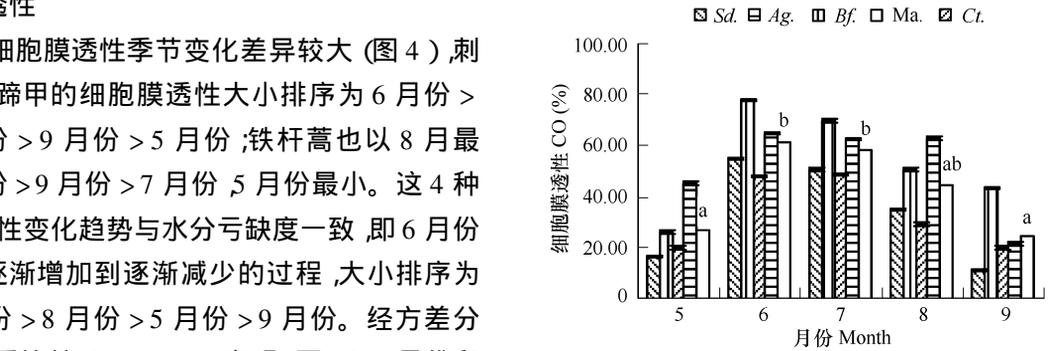


图4 细胞膜透性

Fig. 4 Cytollemma osmosis (CO) of leaves

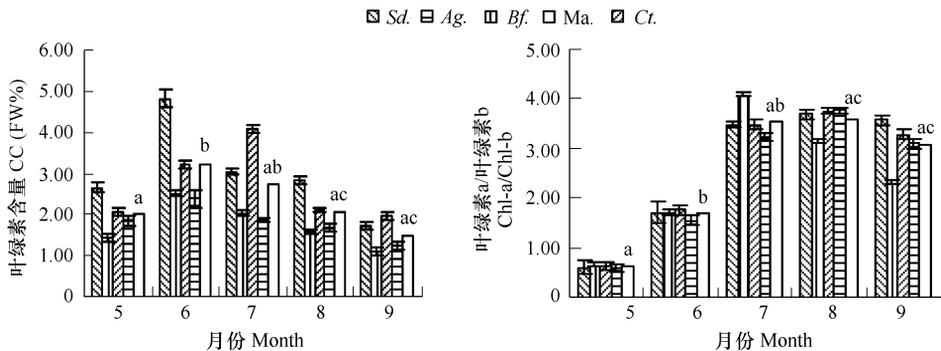


图5 叶片叶绿素含量和叶绿素 a/叶绿素 b

Fig. 5 Chl content (CC) and a/b of leaves

2.6 游离脯氨酸含量和可溶性糖含量

脯氨酸是渗透调节物质之一,具有较好的水合作用,能提高原生质胶体的稳定性,对原生质起到保护与保水作用,防止植物体内水分散失^[17-19]。不同灌木游离脯氨酸的含量随季节的变化也有差异(图6),白刺花、马鞍羊蹄甲6月份含量最高,刺旋花、铁杆蒿分别以5月份、7月份含量最高,灌木平均游离脯氨酸含量6月份最大,其次7月份>5月份>8月份,9月份最低。经方差分析(表2)与多重比较(LSD检验)($p < 0.05$)表明(图6)5月份、6月份与9月份灌木的游离脯氨酸含量有显著性差异。

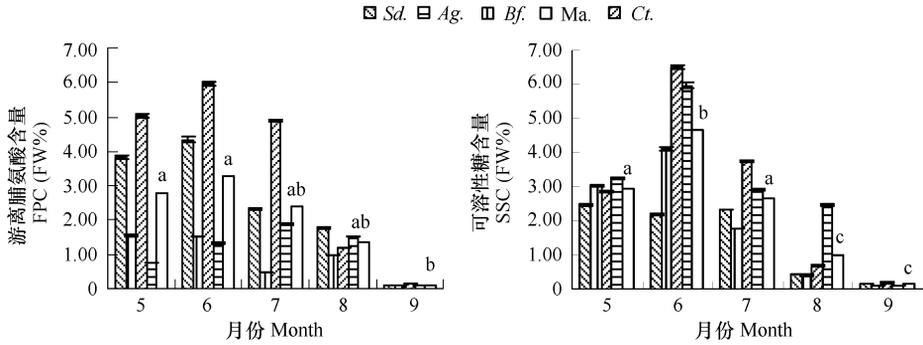


图6 叶片游离脯氨酸和可溶性糖含量

Fig. 6 Free proline (FPC) and soluble sugars (SSC) content of leaves

表2 灌木抗旱指标方差分析

Table 2 Variance analysis about drought indexes of shrub 指标

指标 Indices	来源 Origin	平方和 SS	自由 度 df	方差 Mean-square	F	F _{0.05}
水分自然饱和和亏缺 WSD (%)	SA	745.775	4	186.444	4.370 *	0.015
	SE	639.995	15	42.666		
	ST	1385.769	19			
相对含水量 RWC (%)	SA	745.939	4	186.485	4.371 *	0.015
	SE	640.018	15	42.668		
	ST	1385.957	19			
含水量 WC (%)	SA	1139.741	4	284.935	5.476 *	0.006
	SE	780.479	15	52.032		
	ST	1920.220	19			
束缚水/自由水比 B/F	SA	0.086	4	0.022	0.470	0.757
	SE	0.69	15	0.046		
	ST	0.776	19			
24h 失水率 ER (%)	SA	714.001	4	178.500	2.448 *	0.091
	SE	1093.784	15	72.919		
	ST	1807.758	19			
细胞膜透性 CO (%)	SA	3982.590	4	995.649	4.130	0.019
	SE	3615.889	15	214.059		
	ST	7598.487	19			
叶绿素含量 Chl (FW%)	SA	7.228	4	1.857	3.066 *	0.049
	SE	9.084	15	0.606		
	ST	16.511	19			
叶绿素 a/bA/B	SA	27.329	4	6.823	63.745 *	0.000
	SE	1.608	15	0.107		
	ST	28.936	19			
游离脯氨酸含量 FPC (FW%)	SA	5247.468	4	1311.869	11.602 *	0.000
	SE	1696.131	15	113.075		
	ST	6943.599	19			
可溶性糖 SSC (FW%)	SA	5247.468	4	1311.869	11.602 *	0.000
	SE	1696.131	15	113.075		
	ST	6943.599	19			

可溶性糖不仅是植物参与渗透调节维持细胞膨压的重要物质之一,也是有机 C 的主要储存形式;干旱胁迫下,植物体内的可溶性糖会大量积累,他们的积累量越大,植物的抗旱性越强^[20]。4 种灌木的可溶性糖含量动态变化(图 6)有差异。白刺花叶片可溶性糖含量 5 月份最高,其次 7 月份 > 6 月份 > 8 月份 > 9 月份最低;刺旋花与铁杆蒿的含量大小排序为 6 月份 > 5 月份 > 7 月份 > 8 月份 > 9 月份;马鞍羊蹄甲也以 6 月份最高,其次 7 月份 > 5 月份 > 8 月份 > 9 月份最低;4 种灌木的可溶性糖平均含量大小排序为 6 月份 > 5 月份 > 7 月份 > 8 月份 > 9 月份。据方差分析(表 2)与多重检验($p < 0.05$)表明(图 6)8、9 月份均与 5、6、7 月份,6 月份与 5 月份、7 月份有显著性差异。6 月份时该试验区在植物生长季节最干旱的时节,灌木游离脯氨酸和可溶性糖含量都在此最高,这表明在干旱胁迫会导致其体内的游离脯氨酸和可溶性糖含量增加,以提高它们的抗旱性。

2.7 灌木抗旱能力动态变化综合评价

本文采用模糊数学的隶属(反隶属)函数法,通过每种指标隶属值的平均值对灌木抗旱性进行综合分析。采用模糊数学隶属函数的方法对树种的抗旱性进行综合评价,具体计算公式如下:

$$(1) \text{ 如果指标与抗旱性成正相关} \quad X(u) = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$$

$$(2) \text{ 如果指标与抗旱性负相关} \quad X(u) = 1 - (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$$

将每个树种各指标的抗旱隶属函数值累加起来,求其平均数,平均数越大,抗旱性就越强。

灌木抗旱指标的隶属函数值及其排序(表 3)表明,灌木的抗旱能力整体表现以 9 月份抗旱能力最强,其次 7 月份 > 8 月份 > 6 月份 > 5 月份。7、8、9 月份,该地区灌木叶片完全成熟,对干旱环境完全适应,故此时的灌木的抗旱性强,随着叶片的不断生长老化,虽然总含水量在减少,束缚水在其组织内所占比例却越来越大,组织的保水能力逐渐增加,这可能就是灌木 9 月份抗旱能力最强的原因。5 月份,虽然土壤含水量相对较高,灌木叶片的不成熟,导致其组织内的叶绿素以及渗透调节物质相对含量较少,同时,叶片束缚水/自由水比值小,自由水含量较高,叶片的保水能力低,灌木的抗旱性弱。

表 3 灌木抗旱指标动态变化综合评价指标

Table 3 Comprehensive appraisal about drought indexes of shrub

指标 Indexes	月份 Month				
	5	6	7	8	9
水分饱和和亏缺度 WSD (%)	0.420	0.348	0.590	0.627	0.946
相对含水量 RWC (%)	0.408	0.338	0.572	0.608	0.918
叶片含水量 WC (%)	0.341	0.309	0.296	0.281	0.112
束缚水/自由水比 B/F	0.484	0.594	0.672	0.719	0.781
24h 失水率 ER (%)	0.747	0.552	0.455	0.315	0.431
细胞膜透性 CO (%)	0.764	0.249	0.299	0.502	0.807
叶绿素含量 Chl (FW%)	0.241	0.572	0.444	0.352	0.103
a/b	0.009	0.315	0.858	0.864	0.714
可溶性糖含量 SSC (FW%)	0.440	0.717	0.403	0.141	0.006
游离脯氨酸含量 FPC (FW%)	0.563	0.667	0.481	0.268	0.006
平均值 Average	0.442	0.466	0.507	0.468	0.482
排序 Sort order	5	4	1	3	2

3 结论与讨论

3.1 通过对岷江干旱河谷区白刺花、刺旋花、马鞍羊蹄甲和铁杆蒿 4 种当地主要灌木的抗旱生理与试验区气候因子和土壤含水量共同研究分析表明:灌木叶片干旱胁迫下,组织内叶绿素、可溶性糖以及游离脯氨酸含量增加,林木抗旱性增加,叶片失水率、水分亏缺度、细胞膜透性则随着叶片的逐渐成熟而降低,灌木的抗旱性增强。张卫华^[21]等在相思的抗旱性研究结果中也表明,干旱胁迫导致相思叶片的可溶性糖含量增加;韦小丽^[22]等在对榆科 3 种幼苗的抗旱生理研究中表明,干旱胁迫导致其组织内渗透调节物质脯氨酸含量增加。

柴宝峰^[23]等在甘蒙怪柳与沙棘抗旱性研究中也表明 随着枝条的木质化和叶子的革质化程度的增强,树木的渗透调节能力增强,其抗旱性也逐渐增强。

3.2 白刺花等 4 种灌木的各项抗旱生理指标变化趋势并不完全相同,应用单项指标得出其抗旱性的动态变化趋势与用其它指标得出有差异。这是因为林木抗旱性是一种复合性状,是其形态解剖构造、水分生理生态特征、生理生化反应和组织细胞、光合器官及原生质结构特点的综合反应^[24],某一指标只是对抗旱性某一方面的反应,难以准确评价林木抗旱的动态变化趋势,只有从各个不同方面综合研究林木抗旱特性,才能得出比较客观的结论。

3.3 根据隶属(反隶属)函数法对 4 种灌木抗旱能力动态变化综合评价结果表明:4 种灌木生长季节的抗旱性综合评价值 7 月份为 0.507,最高;其次 9 月份 > 8 月份 > 6 月份 > 5 月份最低,仅为 0.442。5、6 月份是该地区灌木在年生长季节中的抗旱性最弱时期,尤其 6 月份土壤含水量低,对植物干旱胁迫严重,故 5、6 月份是该地区植被生长发育的最困难时期,尤其对当年的造林树种而言,能否度过该时期关系到树种的成活与否,所以,为有效提高该地区树种的造林成活率与保存率,应在该时期通过人为干预,降低干旱对树种的伤害。

References :

- [1] The Comprehensive Scientific Expedition to the Qinghai-Xizang Plateau. Chinese. Academy of Sciences, The Dry Valley of the Hengduan Mountains Region. Beijing: Sciences Press, 1992.
- [2] Liu G H, Zhang J Y, Zhang Y X *et al.* Distribution regulation of aboveground biomass of three main shrub types in the dry valley of Minjiang River. *Journal of Mountain Science* 2003, 21 (1) 24—32.
- [3] Zhang W H, Lu T, Ma K M, *et al.* Analysis on the environment and spatial factors for plant community distribution in the arid valley in the upper reach of Minjiang River. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24 (3) 552—559.
- [4] Wu Y, Su Z X, Fang J Y. Study on causes and ecological renewal of arid and warm valley of upper Minjiang River. *Journal of China West Normal University (Natural Sciences)*, 2003, 24 (3) 226—281.
- [5] Ye M S, Guan W B, Tan H, *et al.* The diversity of shrubs community in the arid valley of the Minjiang River. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24 (3) 552—559.
- [6] Zhang Z X. Measure of crop's Physiological research. Beijing: Agricultural Press, 1990.
- [7] Wang J Y, Ao H, Zhang J. The technology and theory of plant's Physiological and biochemical experiment. Harbin: Northeast Forestry University Press, 2003.
- [8] Zhang J G, Li J Y. Studies on classification models and mechanisms of drought tolerance of major afforestation species in north China — Water-holding ability and maintenance of turgor. *Journal of Hebei Forestry College*, 1995, 10 (3) 187—193.
- [9] Chen L S, Liu X H. Kind of index for crop drought resistance identification and comprehensive evaluation. *Journal of Fujian Agricultural University*, 1997, 26 (1) 48—55.
- [10] Zhou H Y. Drought resistance of 4 trees in Jinchang city. *Journal of Desert Research*, 1997, 17 (3) 301—303.
- [11] Zhu C Y, Zhao Y, Liu X, *et al.* A study on physiological drought of caragana and others. *Arid Zone Research*, 1996, 13 (1) 59—63.
- [12] Zhang L, Xu J R. Studies on physiological and biochemical responses of robinia pseudoacacia clones under water stress. *Scientia Silvae Sinicae*, 2003, 39 (4) 162—167.
- [13] Dang H Z, Zhao Y S, Chen X W. Study on drought resistance of tree species on plateau hill in Gansu. *Science of Soil and Water Conservation*, 2003, 1 (4) 21—25.
- [14] Jiang Z R. Probe into drought-resisting mechanism of *Ammopitanthus mongolicus* (Maxim). *Journal of Desert Research*, 2000, 20 (1) 71—74.
- [15] Ai L M M. Differential permeability of some plants call membrane and relation with drought resistance. *Arid Zone Research*, 1994, 11 (1) 57—60.
- [16] Chao B, Su R H, Wang B, *et al.* Study on the changes of several physiological indexes of *Ailanthus altissima* seedling under water stress. *Forestry Science* 2003, 28 (3) 1—3.
- [17] Bohnert H J, Nelson D E, Jensen R G. Adaptations to environmental Stresses. *The Plant Cell*, 1995, 7: 1099—1111.
- [18] Bohnert H J, Jensen R G. Strategies for engineering water-stress tolerance in plants. *Trends in Biotechnology*, 1996, 14: 89—97.
- [19] Gao J, Chao K F, Wang H X. Water relation and stomatal conductance in nine tree species during a dry period grown in a hot and dry valley. *Acta Phytocologica Sinica* 2004, 25 (2): 186—190.

- [20] Guo W D. Molecular mechanism of plant drought tolerance. *Acta Univ. Agric. Boreali. Occidentalis*, 1999, 27 (4) :102—108.
- [21] Zhang W H, Zhang F Q, Zhang S G, *et al.* Study on the Drought-resistance of Three Seedlings of *Acacia*. *Forest Research*, 2005, 18 (6) :695—700.
- [22] Wei X L, Xu X Z, Zhu S Q. Variation of Physiological and Biochemical Indexes in Seedlings of Three Ulmaceae Species Under Water Stress. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences)*, 2005, 29 (2) :47—50.
- [23] Cai B F, Li C. Study on drought resistance of *Tamarix austro* and *Hippophae rhamnoides*. *Chin. Appl. Environ. Biol.*, 1998, 4 (1) :24—27.
- [24] Larcher W. *Physiological Plant Ecology* 2nd eds. Berlin and New York: Springer-Verlag, 1980. 303.

参考文献：

- [1] 中国科学院青藏高原综合科学考察队. 横断山区干旱河谷. 北京: 科学出版社, 1992.
- [2] 刘国华, 张洁瑜, 张育新, 等. 岷江干旱河谷三种主要灌丛地上生物量的分布规律. *山地学报*, 2003, 21 (1) :24~32.
- [3] 张文辉, 卢涛, 马克明, 等. 岷江上游干旱河谷植物群落分布的环境与空间因素分析. *生态学报*, 2004, 24 (3) :552~559.
- [4] 吴勇, 苏智先, 方精云. 岷江上游干温河谷成因及生态恢复初探. *西华师范大学学报 (自然科学版)*, 2003, 24 (3) :226~281.
- [5] 冶民生, 关文彬, 谭辉, 等. 岷江干旱河谷灌丛 α 多样性分析. *生态学报*, 2004, 24 (6) :1123~1130.
- [6] 张政究. *作物生理研究法*. 北京: 农业出版社, 1990.
- [7] 王晶英, 敖红, 张杰, 等. *植物生理生化实验技术与原理*. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2003.
- [8] 张建国, 李吉跃. 北方主要造林树种耐旱机理及其分类模型的研究——叶保水力及维持膨压. *河北林学院学报*, 1995, 10 (3) :187~193.
- [9] 陈立松, 刘星辉. 作物抗旱鉴定指标的种类及其综合评价. *福建农业大学学报*, 1997, 26 (1) :48~55.
- [10] 周海燕. 金昌市 4 种乔木抗旱性生理指标的研究. *中国沙漠*, 1997, 17 (3) :301~303.
- [11] 朱春云, 赵越, 刘霞, 等. 锦鸡儿等旱生树种抗旱生理的研究. *干旱区研究*, 1996, 13 (1) :59~63.
- [12] 张莉, 续九如. 水分胁迫下刺槐不同无性系生理生化反应的研究. *林业科学*, 2003, 39 (4) :162~167.
- [13] 党宏忠, 赵雨森, 陈祥伟. 甘肃省高原山地树种的抗旱性研究. *中国水土保持科学*, 2003, 1 (4) :21~25.
- [14] 蒋志荣. 沙冬青抗旱机理的探讨. *中国沙漠*, 2000, 20 (1) :71~74.
- [15] 艾尼莫明. 几种植物细胞膜的差别透性及其与抗旱性的关系. *干旱区研究*, 1994, 11 (1) :57~60.
- [16] 曹兵, 苏润海, 王标, 等. 水分胁迫下臭椿幼苗几个生理指标的变化. *林业科技*, 2003, 28 (3) :1~3.
- [17] 高洁, 曹坤芳, 王焕校. 干热河谷 9 种造林树种在旱季的水分关系和气孔导度. *植物生态学报*, 2004, 25 (2) :186~190.
- [18] 郭卫东. 植物抗旱分子机理. *西北农业大学学报*, 1999, 27 (4) :102~108.
- [21] 张卫华, 张方秋, 张守攻, 等. 3 种相思幼苗抗旱性研究. *林业科学研究*, 2005, 15 (6) :695~700.
- [22] 韦小丽, 徐锡增, 朱守谦. 水分胁迫下榆科 3 种幼苗生理生化指标的变化. *南京林业大学学报 (自然科学版)*, 2005, 29 (2) :47~50.
- [23] 柴宝峰, 李磊. 甘蒙怪柳与沙棘抗旱性研究. *应用与环境生物学报*, 1998, 4 (1) :24~27.