

文章编号: 1001-1498(2007)02-0151-09

金沙江干热河谷主要植被恢复树种叶水势的时空变化规律

段爱国, 张建国, 张俊佩, 王军辉

(中国林业科学研究院林业研究所, 国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091)

摘要: 2005年和2006年在金沙江干热河谷, 选择不同季节的典型晴天测定了18个试验树种的叶水势, 结果表明:

(1)金沙江干热河谷主要植被恢复树种叶水势在不同季节的日变化曲线均有一个明显的高峰, 绝大多数呈单峰状分布, 高峰值大多数出现在下午14:00; 干热生境中的树种具有丰富的叶水势多样性。(2)元谋干热河谷主要树种的叶水势受季节变化的影响较大, 所有树种均表现为3月份叶水势大于5月份叶水势以及5月份叶水势小于10月份水势, 5月干热胁迫的加深加剧了树种间水势的进一步分化, 而雨后干热胁迫的解除能降低分化的程度; 各树种叶水势日变化在干热的5月份变动幅度最小。(3)各树种叶水势与温度、湿度及光照强度分别呈负、正、负相关, 相关性可由线性方程予以恰当描述。(4)不同海拔区域所引起的环境因子与物候的差异能影响到某些树种水势的日变化幅度以及季节变化规律; 以坡位而言, 相对低的坡位有利于各树种叶水势维持在一个相对高的水平; 印楝在3种混交模式中叶水势高低依次为: 印楝与大叶相思 > 印楝与银合欢 > 印楝与久树, 这种排序与印楝所受到的竞争强烈程度紧密相关, 极度的干热环境降低了不同混交模式对植物水势的影响程度; 灌溉有利于缓解或解除5月极度干热所形成的水分胁迫。

关键词: 金沙江干热河谷; 植被恢复; 水势; 时空变化

中图分类号: S728.2

文献标识码: A

Spatial and Temporal Variations of Water Potential of the Main Tree Species for Vegetation Restoration in the Dry-hot Valleys of the Jinsha River

DUAN Ai-guo, ZHANG Jian-guo, ZHANG Jun-pei, WANG Jun-hui

(Research Institute of Forestry, CAF; Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration, Beijing 100091, China)

Abstract: The spatial and temporal variations of water potential of 18 tree species for vegetation restoration in the dry-hot valleys of the Jinsha river were systematically analyzed on typical sunny day of different seasons in 2005 and 2006, some main conclusions were gotten as follows: (1) The daily water potentials within leaves of the main tree species in the dry-hot valleys of the Jinsha river all obviously presented a figure of single-peak in different seasons, the most peak values of daily water potentials of the leaves appeared at 14:00; (2) The water potential within leaves of the main tree species in the valleys was deeply affected by the change of seasons, the characteristic seasonal change of water potential within leaves for all the tree species studied was that the water potential in March was bigger than water potential in May and water potential in May was smaller than water potential in October; the dry and hot in May promoted the diversity of water potential, and the relief of dry and hot stress after rainy season decreased the diversity; the diurnal variation of water potential within leaves of the tree species in May was relatively stable. (3) The water potential within leaves had the negative, positive and negative linear correlation with temperature,

收稿日期: 2006-08-02

基金项目: 国家林业局林业重点工程科技支撑项目“西南困难立地抗逆性优良乔灌木树种选择及快繁技术试验示范”

作者简介: 段爱国(1976—),男,湖北荆州人,助理研究员,在职博士研究生,主要从事森林培育与树木生理生态方向的研究。

humidity and light intensity. (4) Different tree species were differently affected by altitude, the change of environmental factors and phenology caused by changeable altitude could affect the diurnal and seasonal variation of water potentials of some tree species; the lower location of slope was beneficial to keeping water potential at a relative high level; the order of leaf water potential of *Azadirachta indica* in three mixed stands from high to low was *Azadirachta indica* & *Acacia auric*, *Azadirachta indica* & *Leucaena leucocephala*, and *Azadirachta indica* & *Scdteichera oleosa*, which was closely related to the suppressed condition of *Azadirachta indica*, the extremely dry and hot environment could decrease the affection of different mixed stands on plant leaf water potential; the water stress caused by the extreme drought in May could be relieved by irrigation.

Key words: dry-hot valleys of the Jinsha River; vegetation restoration; water potential; spatial and temporal variations

金沙江干热河谷主要指云南鹤庆中江河口至四川布拖对坪,全长约 880 km 的干流及其支流流域的河谷两侧海拔 1 600 m 以下地区^[1]。该地区气候干旱炎热,降水量较少且分布不均,土壤干旱贫瘠,是我国造林极端困难的立地之一^[2]。从 20 世纪 50 年代以来,为了防治水土流失,改善生态环境,在金沙江干热河谷中进行了多次植被恢复的实践,取得了许多宝贵的研究成果^[3-9]。总体来看,干热河谷植被恢复的研究工作还停留在摸索试验阶段,对植被恢复树种在干热生境条件下的生理生态特性尚没有一个全面深入的认识,致使植被恢复工作进展缓慢或存在一定的风险。水分生理生态特性是植物适应干热环境的重要特性,水分因子可谓干热河谷区造林成败最主要的限制因子之一。以往对干热河谷树种水分生理生态的探讨主要反映在各树种叶片蒸腾、水分利用效率的比较方面,且侧重于桉属及相思类树种,但对叶片水分生理活动的基础——叶水势,缺乏系统研究,这不利于深入解释整个土壤—植物—大气系统 (SPAC) 中的水分运转状况。叶水势是植物水分状况的最佳度量之一,反映叶片细胞液中水分子的能量水平,是作物水分状况的表征^[10-12]。在农作物研究中,Turner^[13]认为以作物的水分状况为灌溉依据比以土壤水分状况为依据更可靠。对植物叶水势动态规律进行研究,有利于植物蒸腾作用、光合作用、呼吸作用等生理机制的深入探讨^[14,15]。本文研究了金沙江干热河谷主要植被恢复树种叶水势随时间及分布空间的变化规律,以期对干热区造林树种选择及造林树种适生机制提供理论与实践基础。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验区位于云贵高原云南省境内金沙江上段的鹤庆县及中段的元谋县。鹤庆县位于云南省西北部,隶属大理白族自治州, 25°51' ~ 26°42' N, 100°05' ~

100°25' E。金沙江从县境东部流过,过境河段长约 78 km,试验地设在该县黄坪镇,海拔 1 400 ~ 1 600 m。元谋县地处云南省北部,位于 101°52' ~ 102°00' E, 25°40' ~ 26°00' N,海拔约 1 100 m,其干热河谷气候特征较鹤庆县更为典型,雨季约 5 个月 (6—10 月),降水集中,但连续降雨日数较少,昼夜温差不大,空气闷热;干季 6 ~ 7 个月 (11 月至翌年 5 月),主要为 3、4、5 月,年降水量 613.9 mm,其中 6—10 月份降雨占全年降水量的 92%,年蒸发量 3 847.8 mm,年均空气相对湿度 53%。试验区土壤以燥红土为主,干旱瘠薄,水肥条件极差。自然植被以草丛为主,杂以灌木,稀少乔木,称为半自然稀树草原或稀树灌草丛。

1.2 试验材料

在元谋县选用的野外试验树种有印楝 (*Azadirachta indica* A. Juss)、山合欢 (*Albizia kalkora* (Roxb.) Prain)、新银合欢 (*Leucaena leucocephala* cv. Salvador)、苏门答腊金合欢 (*Acacia glauca* (L.) Moelich)、木豆 (*Cajanus cajan* (L.) Mill)、山毛豆 (*Tephrosia candida* DC)、云南松 (*Pinus yunnanensis* Franch)、久树 (*Schleichera oleosa* (Lour.) Oken)、赤桉 (*Eucalyptus camaldolensis* Dehn)、史密斯桉 (*E. smithii* L.)、大叶相思 (*Acacia auriculiformis* A. Cunn.)、川楝 (*Melia toosendan* Sieb et Zucc.)、车桑子 (*Dodonaea viscosa* (L.) Jacq.)、余甘子 (*Phyllanthus emblica* L.)、小桐子 (*Jatropha curcas* L.)、其中史密斯桉与云南松生长在有灌溉条件的地方;鹤庆县试验树种有山合欢、新银合欢、苏门答腊金合欢、墨西哥柏木 (*Cupressus lusitanica* Mill.)、干香柏 (*Cupressus duclouxiana* Hickel)、木豆、山毛豆、赤桉、黑荆树 (*Acacia meamsii* De Wild.)、车桑子、余甘子。除赤桉为萌生外,试验所采用的引进树种均栽植于 2002 年,测定时林龄为 5 a,所有供试树种均发育良好。

1.3 研究方法

于 2005 年、2006 年选择干季 (3 月份)、热季 (5 月份) 及雨季后 (10 月份) 的典型晴天对试验树种叶

水势进行测定。所有供试树种均选取典型单株中部向阳叶片,采用压力室法测定叶水势,重复 2~3 次,光照强度、温度与湿度等环境因子采用 Licor-6400 便携式光合测定系统测试。3、5 月份日变化测定时间为 8:00, 10:00, 12:00, 14:00, 16:00, 18:00, 20:00, 10 月份因傍晚来临的早,测定时间为早 8:00 至晚 18:00。针对试验树种在分布区域与立地位置上的变化,分别测定元谋县与鹤庆县供试树种的叶水势,以探讨海拔区域的变化对试验树种叶水势的影响;在元谋县试验地,分别测定印楝等 8 个树种在同一坡向不同坡位的叶水势,探讨坡位对供试树种叶水势的影响;分别测定元谋试验区引进树种——印楝在印楝与久树、印楝与银合欢及印楝与大叶相思等 3 种混交模式中的叶水势,此 3 种类型的混交林生长在同一坡面的同一个坡位,设置年龄、混交方式及株行距一致,以此探讨不同混交模式对该树种叶水势的影响;在元谋县试验区,分别测定木豆和大叶相思在野外无灌溉条件及野外有灌溉条件时的叶水势,探讨土壤水分条件差异对供试树种叶水势的影响。采用变异系数描述叶水势日变化及季节变化的变化幅度^[16]。采用 SPSS 统计软件进行差异显著性

分析及聚类分析,运用 SAS 软件进行数据回归分析。

2 结果与分析

2.1 干热河谷区不同季节典型晴天环境因子的变化

从图 1 中可看到,元谋干热河谷不同季节的典型晴天的最高光照强度相近,最大光照强度均出现在 14:00,3、5 月份光照强度在绝大部分时刻都较为接近,10 月份光照强度明显要较 3、5 月份低,且 10 月份 18:00 时的光照强度与 3、5 月份的 20:00 一样,均接近于 0,光强日变化趋势呈现凸状分布;不同季节温度的日变化亦呈凸状分布,最高温度大小排序为 5 月份 > 3 月份 > 10 月份,最高温出现在 12:00 或 14:00,5 月份不同时刻的温度始终大于 3、10 月份;湿度的日季节变化与温度正好相反,最低湿度大小排序为 10 月份 > 3 月份 > 5 月份,湿度日变化趋势整体上呈凹状分布。很明显,在经历 3 月份的干热天气后,5 月份为干热气候的延续与加深,而雨季后的 10 月份温度下降,空气湿度大大增加,干热环境明显解除。

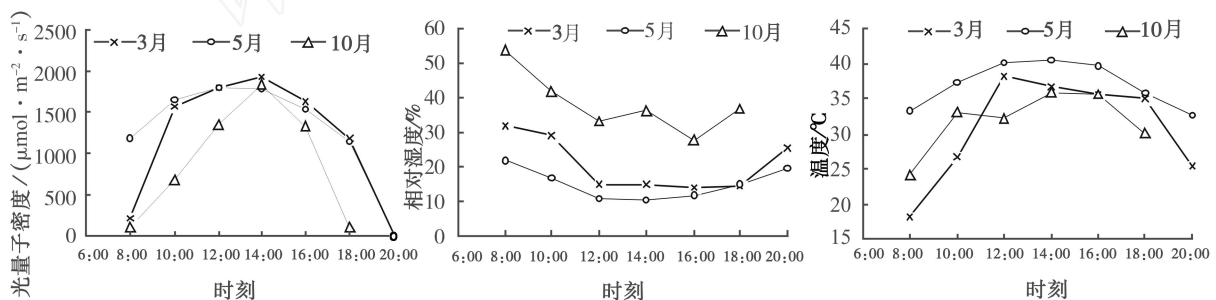


图 1 元谋县试验区 3、5、10 月份典型晴天的光照强度、温度及湿度的日变化

2.2 主要植被恢复树种叶水势的日变化和季节变化规律

2.2.1 主要植被恢复树种叶水势的日变化和季节变化规律的定性分析 从图 2 中可以看到,供试树种叶水势在不同季节的日变化均具有一个明显的峰值,绝大多数呈单峰状分布,少数几个呈高低明显的双峰状分布,峰值大多数情况出现在下午 14:00,但亦随树种的不同及季节的变化而有所变动,其浮动范围总体上分布在 12:00—16:00,亦有个别出现在 10:00 或 18:00。自上午 8:00 起,各树种叶水势呈现下降趋势,这主要是由于随着光照强度和温度的

上升,大气湿度下降,叶片表面蒸汽压差变大,叶片蒸腾失水加剧,而所形成的根压促使根系吸收的水分来不及补充所致;在 12:00—16:00,各树种叶片蒸腾量进一步增大,植物体根系吸水能力持续增强,但叶片水分收支进一步失衡,致使叶水势达到最低值,且不同树种叶片水分收支失衡的程度不一,表明不同树种的耐旱能力及耐旱机理存在差异;随着光强、温度的逐渐降低以及空气湿度的增大,植物叶片表面蒸汽压差开始减小,各树种叶水势开始增大,在 18:00 或 20:00 水势值增大至接近上午 8:00 的水势。

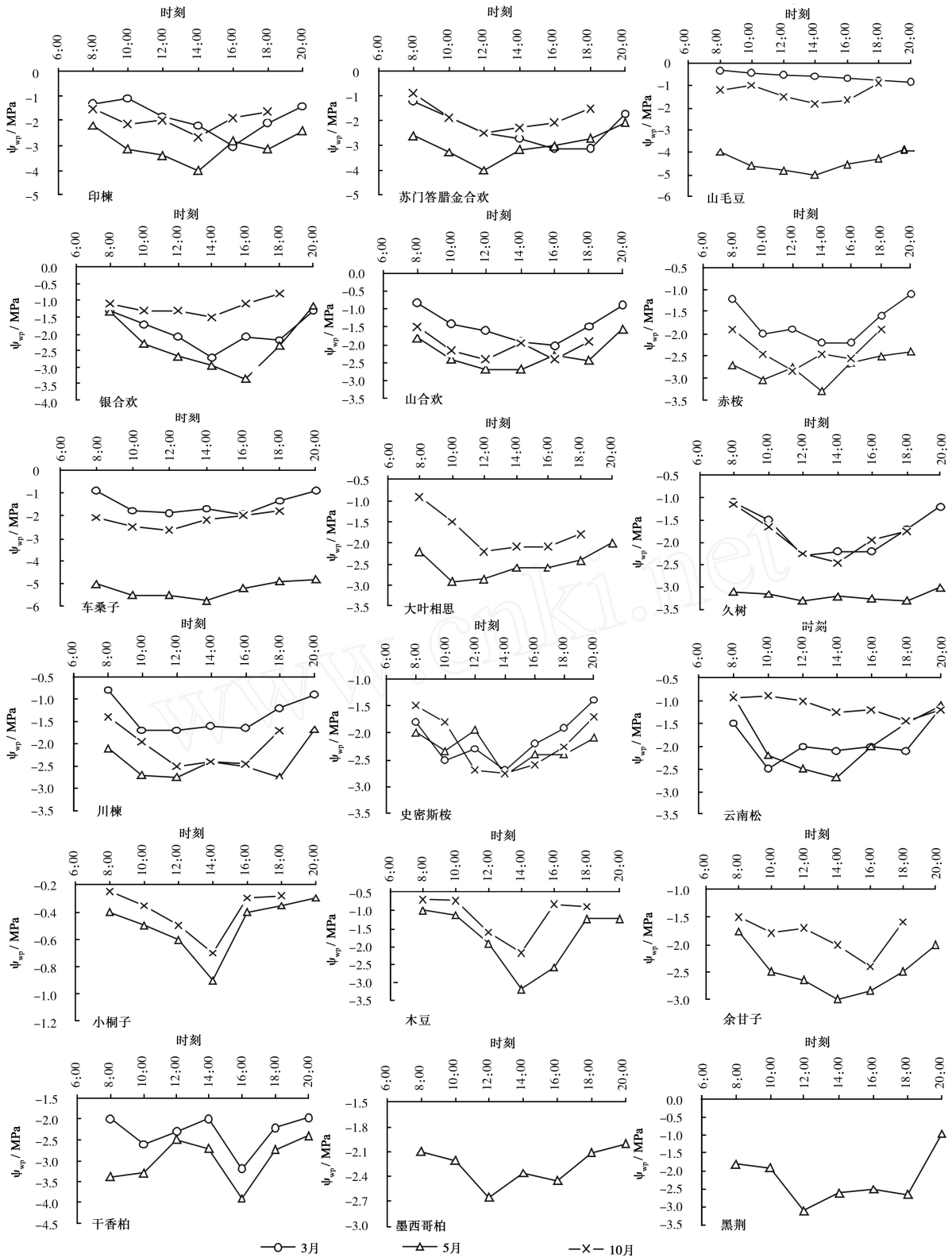


图 2 金沙江干热河谷主要植被恢复树种不同季节叶水势 (ψ_{wp}) 的日变化
 (其中干香柏、墨西哥柏、黑荆生长于鹤庆县,其它树种均属元谋试验区)

从图 2 可知,季节的变化对各树种叶水势具有很大影响。随着 5 月份的来临,干热胁迫加深,所有生长在野外无灌溉条件的供试树种(印楝、赤桉、车

桑子、银合欢、山合欢、苏门答腊金合欢、久树、川楝及干香柏等)的叶水势均极显著低于 3 月份;史密斯桉和云南松由于生长在有灌溉条件的地方,其叶水

势在极度干热的 3、5 月份间差异不显著,这主要是由于土壤水分得到充分供给后有利于根系吸水,从而缓解了由干热天气的加剧所造成的叶片增强型失水。进入 10 月份后,各环境胁迫因子减弱,相对干热季节,供试树种叶水势均大幅度升高,为植被恢复树种的生长提供了有利的水分环境。有一点需要明确的是,由于 3 月初试验区出现很少见的强降雨,致使有些树种在 3 月份的叶水势与 10 月份的差异不明显,甚或更高。

2.2.2 主要植被恢复树种不同季节叶水势的日变化规律的定量分析 树种生理特性和环境因子的变化决定了植物叶水势的大小及变动规律。从表 1 可知,干热河谷植被恢复树种叶水势日平均值具有明显的差异,如 5 月份车桑子叶水势最低达 - 5.24 MPa,最高的小桐子为 - 0.49 MPa,元谋干热河谷在 5 月份叶水势的日均值排序为:车桑子 < 山毛豆 < 久树 < 印楝 < 金合欢 < 赤桉 < 大叶相思 < 余甘子 < 川楝 < 史密斯桉 < 银合欢 < 山合欢 < 云南松 < 木豆 < 小桐子;车桑子等 11 个树种在 3、5、10 月份的叶

水势的变异系数分别为 0.17、0.34 和 0.23,干热胁迫的加深显然加剧了树种间水势的进一步分化,而雨季后干热胁迫的解除能降低分化的程度;11 个树种水势的季节 (3、5、10 月份) 变异系数为:车桑子 (0.67) > 山毛豆 (0.60) > 久树 (0.35) > 银合欢 (0.32) > 印楝 (0.29) > 川楝 (0.28) > 云南松 (0.26) > 金合欢 (0.24) > 赤桉与山合欢 (0.22) > 史密斯桉 (0.06),很明显,不同树种的叶水分运转状况受干热环境的影响而改变的程度不一致,其中车桑子和山毛豆变化最大,表示这 2 个树种的叶水势对季节性干热胁迫的反应最为灵敏,如前所述,史密斯桉由于处于有灌溉条件的立地故其水势变动较小。多数树种在不同季节所属的类别或相对位置发生了改变,车桑子、川楝与山合欢等 3 个乡土树种是以高水势类别 (c) 度过干旱的 3 月份,进入极度干热的 5 月后,车桑子、山毛豆以低水势类别度过 (表 1),而川楝与山合欢还是以相对高的水势类别度过,这进一步表明不同树种在干热与非干热季节时叶水势运转形式的差异。

表 1 供试树种不同季节叶水势的日变化平均值聚类结果及变异系数

树种	平均值 / MPa			变异系数			
	3月	5月	10月	3月	5月	10月	季节
车桑子	- 1.50 (c)	- 5.24 (a)	- 2.21 (a-1)	0.30	0.07	0.14	0.67
山毛豆	- 2.21 (a)	- 4.44 (a)	- 1.34 (b)	0.16	0.10	0.27	0.60
久树	- 1.74 (b)	- 3.19 (b-1)	- 1.87 (a-2)	0.29	0.03	0.25	0.35
印楝	- 1.84 (b)	- 3.05 (b-1)	- 1.97 (a-2)	0.36	0.20	0.21	0.29
干香柏	- 2.32 (a)	- 2.99 (b-1)		0.19	0.18		
金合欢	- 2.31 (a)	- 2.99 (b-1)	- 1.87 (a-2)	0.32	0.20	0.31	0.24
赤桉	- 1.74 (b)	- 2.76 (b-1)	- 2.35 (a-1)	0.26	0.11	0.16	0.22
大叶相思		- 2.51 (b-2)	- 1.77 (a-2)		0.13	0.28	
余甘子		- 2.47 (b-2)	- 1.83 (a-2)		0.18	0.18	
川楝	- 1.36 (c)	- 2.41 (b-2)	- 2.07 (a-2)	0.29	0.17	0.22	0.28
史密斯桉	- 2.11 (a)	- 2.36 (b-2)	- 2.19 (a-1)	0.21	0.11	0.24	0.06
银合欢	- 1.91 (b)	- 2.30 (b-2)	- 1.18 (b)	0.27	0.35	0.20	0.32
山合欢	- 1.44 (c)	- 2.27 (b-2)	- 2.05 (a-2)	0.32	0.19	0.17	0.22
墨柏		- 2.27 (b-2)			0.10		
黑荆树		- 2.21 (b-2)			0.32		
云南松	- 1.91 (b)	- 1.79 (b-2)	- 1.14 (b)	0.23	0.38	0.17	0.26
木豆		- 1.76 (b-2)	- 1.17 (b)		0.48	0.52	
小桐子		- 0.49 (c)	- 0.40 (c)		0.42	0.44	
平均值	- 1.87	- 2.64	- 1.69	0.27	0.21	0.25	

注:表中 a、b、c 为聚类名称, a-1、a-2、b-1、b-2 则为类别 a、b 进一步划分的类群;树种中干香柏、墨西哥柏、黑荆属鹤庆试验区其它树种均属元谋试验区。

结合图 1 与表 1 可知,不同植被恢复树种叶水势的日变化受环境因子影响的程度不一致,这种影响程度可以采用变异系数来描述。在干燥的 3 月份,依据叶水势在一天中变化的幅度,可将供试树种的变异系数分为大小不一的 4 类:印楝、金合欢、山合欢 > 车桑子、久树、川楝、银合欢、赤桉 > 云南松、史密斯桉、干香柏 > 山毛豆;在极度干热的 5 月,各树种的变异系

数亦可分为 4 类:木豆 > 银合欢、黑荆、云南松、小桐子 > 印楝、干香柏、苏门答腊金合欢、余甘子、川楝、山合欢 > 山毛豆、赤桉、大叶相思、史密斯桉、墨柏、车桑子、久树;进入属非干热季节的 10 月份后,供试树种的变异系数的 4 类划分结果为:木豆 > 小桐子 > 金合欢、大叶相思、山毛豆、久树、史密斯桉 > 川楝、印楝、银合欢、余甘子、云南松、山合欢、赤桉、车桑子。很显

然,排在前面的树种叶水势日变化幅度较大,受环境因子的日变化影响大,反之,排在后面的树种叶水势变化幅度较小,环境因子的日变化对其的影响相对微弱。从表 1 可以看出,在干热的 5 月份,绝大多数供试树种的水势日变化的变异系数均较 3、10 月份小,如车桑子在 5 月份的变异系数仅为 0.07,而在 3、10 月份则分别达 0.30 和 0.14,表明干热河谷植被恢复树种叶水势在极度干热季节的日变化相对稳定,这一点可从图 1 中各供试树种在 5 月份所表现出的相对平缓的日变化曲线得到佐证。此外,各树种叶水势日变化的变异系数随日均值的增大呈增大趋势,线性相关系数达 0.65,这是否表明低水势为树种对干热胁迫的一种适应形态,从而减轻逆境对植物叶片保持水分正常运转的压力?这一点有待进一步的深入研究。

2.3 主要植被恢复树种叶水势与气象因子的相关性

气象因子是影响植物叶水势日变化规律的重要因素。植物叶水势在一天中的变化中呈现先减小后增

大的总体趋势,这种变化规律与大气的温度、湿度及光照强度的节律性日变化密切相关。各树种叶水势与温度、湿度、光照强度的关系可用线性方程予以适当的描述,由表 2 中多元线性逐步回归结果可知,除车桑子外,其它 14 个树种的叶水势与 3 个气象因子的线性相关系数均在 0.7 以上,其中金合欢、余甘子、大叶相思达到了 0.9 以上,表明温度、湿度及光照强度是干热区植物叶水势日变化的主要影响因素。不同树种的主要影响因素不同,印楝、金合欢、山合欢、木豆、车桑子、赤桉、川楝、余甘子及久树的第一影响因素为温度 (X_1),银合欢、山毛豆、大叶相思及云南松的最重要影响因素为大气湿度 (X_2),而史密斯桉与小桐子的第一影响因素则为光照强度 (X_3)。水势与气象 3 因子的正负相关性可由进入回归方程的第一个入选变量的系数符号决定,由表 2 可知水势与温度、湿度及光照强度分别呈负、正、负相关。鉴于试验区植被恢复树种叶水势与气象因子间的高度相关性,可用气象因子对供试树种的叶水势日变化值进行预估。

表 2 典型晴天时元谋干热河谷区主要植被恢复树种叶水势与气象因子的相关性分析

树种	回归方程	变量入选次序	相关系数
印楝	$Y = 0.4234 - 0.0906X_1 + 0.0121X_2$	X_1, X_2	0.8045
金合欢	$Y = -1.1430 - 0.0509X_1 + 0.0291X_2 - 0.0002X_3$	X_1, X_2, X_3	0.9262
银合欢	$Y = -2.2186 + 0.0345X_2 - 0.0004X_3$	X_2, X_3	0.8346
山合欢	$Y = 1.5978 - 0.0943X_1 - 0.0155X_2$	X_1, X_2	0.8343
山毛豆	$Y = -4.8788 + 0.0895X_2$	X_2	0.7714
木豆	$Y = -0.4442 - 0.0326X_1 + 0.0150X_2 - 0.0003X_3$	X_1, X_2, X_3	0.7225
车桑子	$Y = 2.2440 - 0.2087X_1 + 0.0301X_2 + 0.0008X_3$	X_1, X_3, X_2	0.6467
赤桉	$Y = 1.0929 - 0.0905X_1 - 0.0150X_2$	X_1, X_2	0.7558
大叶相思	$Y = -2.5500 + 0.0283X_2 - 0.0003X_3$	X_2, X_3	0.9578
川楝	$Y = 1.4879 - 0.0846X_1 - 0.0180X_2 - 0.0002X_3$	X_1, X_2, X_3	0.7700
史密斯桉	$Y = -1.4263 - 0.0115X_1 - 0.0004X_3$	X_3, X_1	0.7769
余甘子	$Y = 0.0852 - 0.0730X_1 + 0.0104X_2$	X_1, X_2	0.9133
云南松	$Y = -3.1353 + 0.0415X_1 + 0.0290X_2 - 0.0005X_3$	X_2, X_3, X_1	0.7627
小桐子	$Y = -0.2133 - 0.0002X_3$	X_3	0.7464
久树	$Y = 0.2536 - 0.0963X_1 + 0.0185X_2 + 0.0002X_3$	X_1, X_2, X_3	0.8162

注:变量 Y, X_1, X_2, X_3 分别指代叶水势、温度、湿度及光照强度。

2.4 不同海拔对植被恢复树种叶水势的影响

鹤庆县位于金沙江上游地段,试验区海拔高度高出元谋 300~500 m。从表 3 可知,温度、湿度及光照强度的日变化分别呈凸形、凹形及凸形分布。图 3 描述了鹤庆县 8 个主要植被恢复树种 3、5 月份的叶水势日变化进程,从图 3 可以看到,高海拔试验区的 8 个植被恢复树种叶水势与生长在低海拔区时的日变化规律基本一致,表现为先上升后下降的总体变化趋势,且最高峰亦出现在 12:00 点至 16:00 点;但海拔的高低显然影响了水势的日变化幅度以及季节间的变化规律。由表 4 可知,在高海拔的鹤庆试验区,各树种 5 月份的叶水势并非全部较 3 月份低,

山合欢、车桑子、山毛豆和余甘子 5 月的平均叶水势比 3 月的低,而金合欢、银合欢、赤桉及木豆则相反,这一点与低海拔的元谋表现不一致。5 月水势增大的原因之一可能是空气湿度的增大,此外,一个重要的因素可能在于树种的物候变化。譬如,余甘子在元谋试验区 3 月份尚未展叶,到 5 月份时长满叶的嫩枝才达一定长度,故仅能得到 5 月份的叶水势,而在鹤庆,余甘子 3 月份时既已充分展叶,其后干热胁迫的延续使 5 月份水势持续降低;由于树种特性的差异,生长在高海拔区的金合欢、银合欢及木豆等在 3 月至 5 月为新梢生长期,5 月份测量叶水势时枝条幼嫩,这可能是水势升高的主要原因,根据实验记

录,3月份偏下层枝折断致使 5 月份进行枝条重新 选择,这可能是赤桉水势升高的原因。

表 3 鹤庆县试验区 3、5 月份典型晴天的光照强度、温度及湿度的日变化

时刻	3 月份			5 月份		
	温度 /	湿度 / %	光照强度 / ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	温度 /	湿度 / %	光照强度 / ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
8:00	20.60	20.15	597.11	26.81	26.39	1139.80
10:00	27.68	17.05	1188.25	33.14	15.01	1569.00
12:00	29.08	13.91	1476.33	34.89	14.71	1730.29
14:00	32.26	10.60	1495.33	33.65	13.45	1745.00
16:00	31.81	9.76	1133.33	35.45	12.63	1446.67
18:00	29.74	9.70	502.00	32.68	12.80	798.20
20:00	22.86	16.04	17.00	25.62	18.06	6.00

表 4 鹤庆县 8 个主要植被恢复树种 3、5 月份的叶水势日变化平均值及变异系数

时间	衡量指标	山合欢	赤桉	车桑子	余甘子	山毛豆	银合欢	金合欢	木豆
3 月	平均值 / MPa	-1.52	-2.25	-2.39	-1.34	-2.44	-1.85	-1.97	-1.53
	变异系数	0.26	0.25	0.11	0.20	0.11	0.19	0.15	0.26
5 月	平均值 / MPa	-1.75	-1.89	-3.17	-1.45	-2.55	-1.31	-1.78	-1.05
	变异系数	0.25	0.30	0.10	0.21	0.14	0.28	0.16	0.23

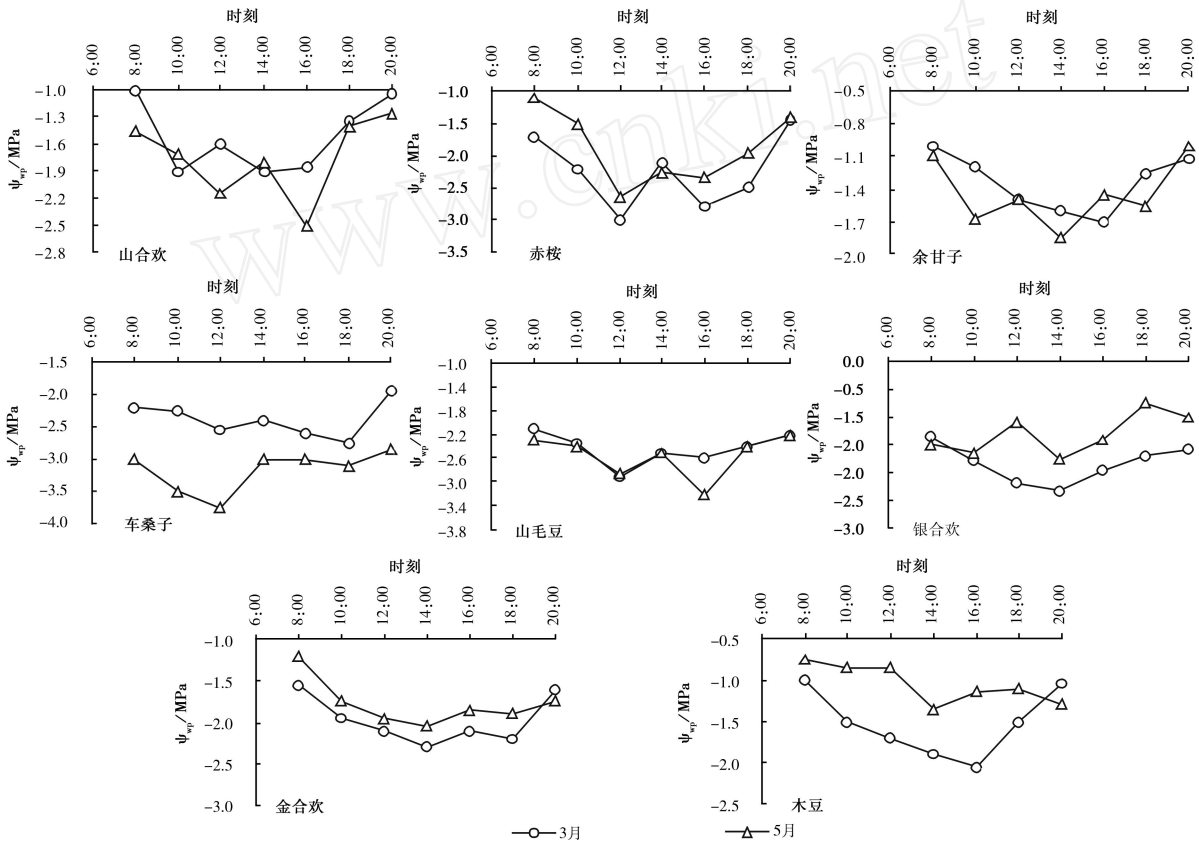


图 3 鹤庆县 8 个主要植被恢复树种 3、5 月份叶水势的日变化

由表 1 与表 4 可看出,在干季(3月),高海拔鹤庆试验区的山合欢、赤桉、车桑子及山毛豆的叶水势日均值比其在低海拔元谋试验区的低,金合欢与银合欢则反之,生长在低海拔区的 6 个树种叶水势的变异系数均比其在高海拔区大,这表明生长在低海拔的植被恢复树种叶水势的日变化更易受到环境因

子的影响;至干热的 5 月,低海拔时各树种叶水势均明显低于高海拔时;高海拔时山合欢、赤桉、车桑子、余甘子及山毛豆的水势日变化的变异系数较低海拔时大,而银合欢、金合欢及木豆则相反。

2.5 坡位对植被恢复树种叶水势的影响

从图 4 可知,处于低坡位树种的叶水势要比高

坡位的高,如 10 月份生长在上坡的印楝的叶水势比下坡的低,5 月份生长在上坡的车桑子的叶水势远比坡底的低,这说明低的坡位有利于各树种叶水势

维持在一个相对高的水平,这可能是由于低坡位的植物根系供水能力增强,而叶片蒸腾失水强度相对较轻的缘故。

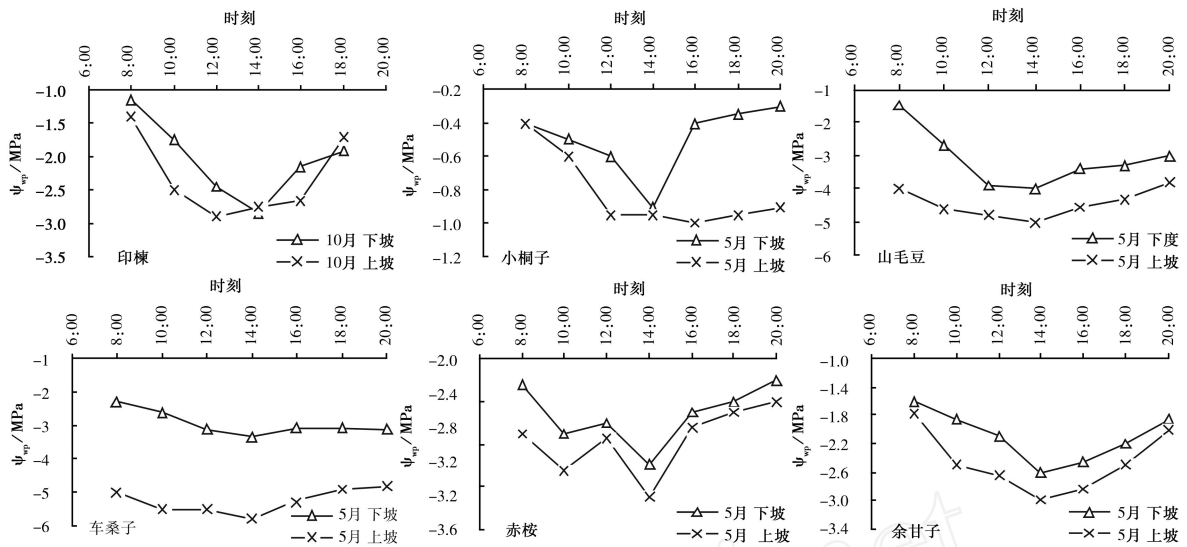


图 4 坡位对植被恢复树种叶水势日变化的影响

2.6 混交方式对植被恢复树种叶水势的影响

从图 5 可看到,不同混交模式时印楝的叶水势具有明显差异,整体来看,印楝与久树混交时印楝的叶水势最小,印楝与银合欢混交方式居中,而印楝与大叶相思混交时印楝水势最高,这种规律与印楝所受的竞争状态是紧密相关的,不同混交方式对印楝所处的生态位具有鲜明的影响,也造成了混交状态中印楝的这种水势差异。其原因在于:印楝与久树混交,由于久树生长缓慢,印楝占据着绝对的优势空间;印楝与银合欢混交,银合欢在生长上处于优势地位,但由于银合欢树冠部分枝细且分枝角度较大,故

印楝在生长过程中受到并非严重的空间挤压和遮阴;而在印楝与大叶相思混交林中,大叶相思属于优势树种,对印楝的生存空间构成了严重的威胁,从生长空间竞争的角度而言,印楝在 3 种混交方式中所受竞争的强烈程度依次为:印楝与大叶相思 > 印楝与银合欢 > 印楝与久树。此外,从图 5 还可看出,10 月份时 3 种混交方式中印楝水势日变化的变动幅度要大于 5 月份,且 3 种混交方式的水势差异更明显,表明极度的干热环境降低了不同混交方式对植物水势的影响程度,而在雨季后,随着干热胁迫的解除,混交模式所形成的植物水势差异得以充分体现。

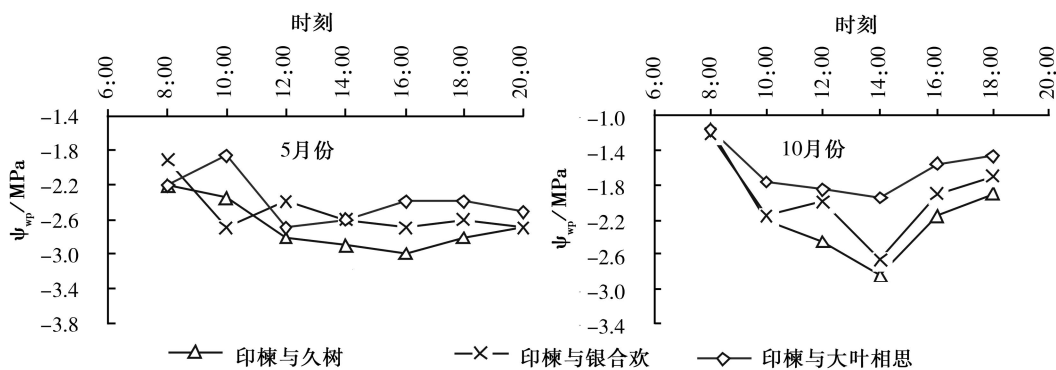


图 5 不同混交方式、不同季节对印楝叶水势日变化的影响

2.7 水分条件对植被恢复树种叶水势的影响

水分条件是干热河谷植被生长的限制因子。由

图 2.6 可知,生长在野外、无灌溉条件的木豆的叶水势远比生长在野外有灌溉条件的低,且有灌溉条件

时木豆在 5、10 月份的叶水势差异不明显;生长在有灌溉条件的大叶相思的叶水势在一天当中明显高于无灌溉条件的。这表明灌溉促进了植物根系的吸

水,从而有利于缓解或解除 5 月极度干热所形成的水分胁迫。

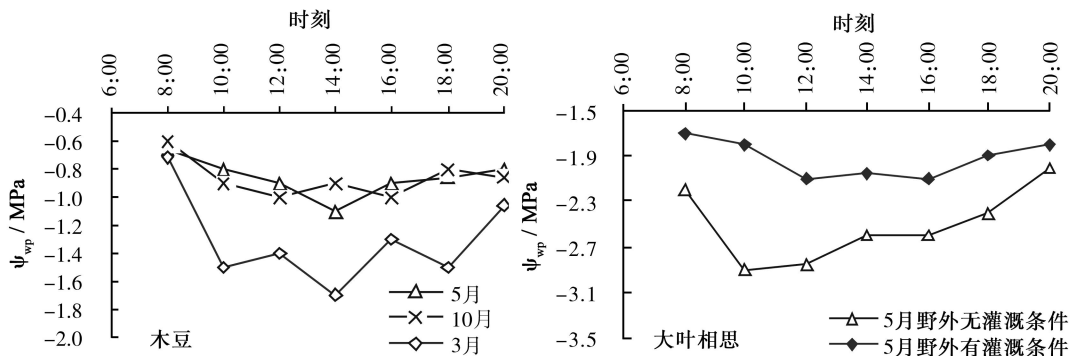


表 6 灌溉对元谋干热河谷试验区不同季节不同树种叶水势 (Ψ_{wp}) 的影响

3 结论

(1)金沙江干热河谷主要植被恢复树种叶水势在不同季节的日变化曲线均具有一个明显的高峰,绝大多数呈单峰状分布,少数呈高低明显的双峰状分布,高峰值大多数出现在下午 14:00;在极度干热的 5 月份元谋试验区主要树种叶水势日均值的排序为:车桑子 < 山毛豆 < 久树 < 印楝 < 金合欢 < 赤桉 < 大叶相思 < 余甘子 < 川楝 < 史密斯桉 < 银合欢 < 山合欢 < 云南松 < 木豆 < 小桐子。

(2)元谋干热河谷主要树种的叶水势受季节变化影响大,所有树种均表现为 3 月份水势大于 5 月份水势及 5 月份水势小于 10 月份水势,5 月干热胁迫的加深加剧了树种间水势的进一步分化,而雨后干热胁迫的解除能降低分化的程度。

(3)各树种叶水势与温度、湿度及光照强度分别呈负、正、负相关,相关性可由线性方程予以恰当描述,线性方程中的第 1 相关变量的系数符号反映了这种正负相关性。

(4)不同树种对海拔高低变化的响应不同,不同海拔区域所引起的环境因子与物候的差异能影响到某些树种水势的日变化幅度以及季节变化规律;以坡位而言,相对低的坡位有利于各树种叶水势维持在一个相对高的水平;印楝在 3 种混交方式中叶水势高低依次为:印楝与大叶相思 > 印楝与银合欢 > 印楝与久树,这种排序与印楝所受到的竞争强烈程度紧密相关,极度的干热环境降低了不同混交方式对植物水势的影响程度,而随着干热胁迫的解除,混交方式所形成的植物水势差异能得到更显著的体

现;灌溉有利于缓解或解除 5 月极度干热所形成的水分胁迫。

参考文献:

- [1] 张荣祖. 横断山区干旱河谷 [M]. 北京: 科学出版社, 1996
- [2] 吴征镒. 云南植被 [M]. 北京: 科学出版社, 1987: 503 ~ 509
- [3] 刘刚才, 刘淑珍. 金沙江干热河谷区土地荒漠化程度的土壤评判指标确定 [J]. 土壤学报, 1999, 36 (4): 559 ~ 563
- [4] 周蛟, 马焕成, 胥辉. 元谋干热河谷引种造林试验及树种选择研究 [J]. 西南林学院学报, 2000, 20 (2): 78 ~ 84
- [5] 张信宝, 杨忠, 张建平, 等. 元谋干热河谷坡地岩土类型与植被恢复分区 [J]. 林业科学, 2003, 39 (4): 16 ~ 22
- [6] 杨再强, 谢以萍. 金沙江干热河谷生态问题与退耕还林技术模式的研究 [J]. 四川林勘设计, 2003 (4): 28 ~ 29
- [7] 李昆, 张春华, 崔永忠, 等. 金沙江干热河谷区退耕还林适宜造林树种筛选研究 [J]. 林业科学研究, 2004, 17 (5): 555 ~ 563
- [8] 袁远亮, 孙辉. 金沙江干热河谷区黑荆树引种研究 [J]. 中国生态农业学报, 2002, 10 (4): 99 ~ 100
- [9] 高洁. 干热河谷主要造林树种光合作用光抑制的防御机制 [J]. 应用与环境生物学报, 2004, 10 (3): 286 ~ 291
- [10] 张建国, 李吉跃, 沈国防. 树木耐旱特性及其机理研究 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2000
- [11] 汤章城. 植物对水分胁迫的反应和适应: 植物对干旱的反应和适应 [J]. 植物生理学通讯, 1983, 7 (4): 1 ~ 7
- [12] 赵平. 退化生态系统植被恢复的生理生态学研究进展 [J]. 应用生态学报, 2003, 14 (11): 2031 ~ 2036
- [13] Turner N C. Drought resistance and adaptation to water deficits in crop plants [A]. In: Harry M. Stress Physiology in Crop Plants [C]. New York: John Wiley and Sons, 1979: 343 ~ 372
- [14] 郭连生, 田有亮. 9 种阔叶幼树的蒸腾速率、叶水势与环境因子关系的研究 [J]. 生态学报, 1992, 12 (1): 47 ~ 52
- [15] 沈允钢, 施教耐, 许大全. 动态光合作用 [M]. 北京: 科学出版社, 1985