

文章编号: 1001-1498(2009)01-0055-08

金沙江干热河谷植被恢复树种盆栽苗 蒸腾耗水特性的研究

段爱国¹, 张建国^{1*}, 张俊佩¹, 王军辉¹, 李昆², 张守攻¹

(1. 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;

2. 中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 云南 昆明 650224)

摘要:采用快速称重法对金沙江干热河谷 28种植物恢复树种盆栽苗蒸腾耗水规律进行了研究, 结果表明: (1) 在干热的 3 月份, 在土壤水分充足的条件下, 25 个供试树种盆栽苗在典型晴天里全天蒸腾耗水量为 171.80 ~ 731.00 g, 白天蒸腾耗水量为 147.10 ~ 631.70 g, 白天蒸腾耗水量占全天耗水量的 78.83% ~ 91.16%, 其中, 24 个树种的盆栽苗白天平均蒸腾耗水速率为 0.95 ~ 6.91 mmol · m⁻² · s⁻¹, 表明不同盆栽苗的耗水能力存在明显差异。 (2) 在湿季 10 月份, 14 个供试阔叶树盆栽苗全天的蒸腾耗水量为 204.06 ~ 303.28 g, 白天平均耗水速率为 0.82 ~ 2.12 mmol · m⁻² · s⁻¹。 (3) 所有供试盆栽苗在干热季节里的蒸腾耗水速率均大于湿季, 干热天气加剧了参试盆栽苗的蒸腾作用, 加大了蒸腾失水的速度。 (4) 干热胁迫推迟了大部分树种盆栽苗蒸腾耗水量日变化峰值出现的时间, 对绝大多数参试盆栽苗而言, 干热胁迫降低了蒸腾量的日变化幅度。 (5) 充分供水条件下, 盆栽苗木蒸腾耗水量及耗水速率日变化的单峰分布特征不受季节变化所引起的大气干旱胁迫程度的影响, 随着土壤干旱胁迫加深, 苗木蒸腾耗水量的日变化峰值有所提前, 单峰态类型有向多峰态类型过渡的趋势。

关键词:金沙江干热河谷; 植被恢复; 蒸腾耗水; 日变化; 季节效应

中图分类号: S722.3⁺6

文献标识码: A

Studies on Transpiration of Seedlings of the Tree Species for Vegetation Restoration in the Dry-hot Valleys of the Jinsha River

DUAN Ai-guo¹, ZHANG Jian-guo¹, ZHANG Jun-pe¹, WANG Jun-hui¹, LI Kun², ZHANG Shou-gong¹

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

2. Research Institute of Resource Insects, CAF, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstract: Transpiration of twenty-eight potted afforestation species for vegetation restoration in the dry-hot valleys of the Jinsha River was studied on typical sunny day in different seasons. Five main conclusions were gotten as follows: (1) In dry and hot March, the variation range of water consumption through transpiration in whole day of twenty-five species was 171.80 - 731.00 g, in which, the water consumption in the day was 147.10 - 631.70 g, the proportion of water consumption in the day time arrived 78.83% - 91.16%; except for one species, the average water consumption rate in the day of twenty-four tree species was 0.95 - 6.91 mmol · m⁻² · s⁻¹; different species had obvious differences in aspect of water consumption capacity while water supply was enough. (2) In wet October, the variation range of water consumption through transpiration in whole day of fourteen broad-leaf tree species was 148.65 - 303.28 g, the average water consumption rate in the day varied in the range of 0.82 - 2.12 mmol · m⁻² · s⁻¹. (3) The water

收稿日期: 2008-02-13

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, 博士, 副研究员, 主要从事林木定向培育与改良和树木生理生态方向的研究。

*通讯作者. E-mail: zhangjg@caf.ac.cn

consumption rates of all the test tree species in the dry-hot season were higher than the ones in the wet season, the dry-hot weather promoted the transpiration of seedlings, and strengthened the transpiring water consumption rate (4) The dry-hot stress delayed the presentation of the transpiring water consumption peak values for the most tree species, and decreased the width of daily transpiration change for the absolutely most test tree species (5) In normal water supply, the daily change of water consumption and water consumption rate of twenty-five tree species took on "single peak style", and this characteristics did not affected by the extend of atmosphere drought which was caused by season variation. During the course of soil drought stress, the peak value of transpiration of seedlings brought forward, the type of single peak kurtosis had the trend of transition to multi-peak kurtosis

Key words: the dry-hot valleys of the Jinsha River; vegetation restoration; water consumption by transpiration; daily change; season effect

蒸腾耗水是树木水分散失的主要途径,是土壤-植物-大气系统 (SPAC)中水分运转的关键环节或枢纽^[1]。树木蒸腾耗水量的准确测算是干旱与半干旱地区造林树种选择、造林密度的确定、人工林分稳定性评价及防护林体系优化配置等的重要依据,是林业生态治理工程建设技术中最关键、最核心的问题^[2-4]。金沙江干热河谷区气候干旱炎热,降水量较少且分配不均,土壤干旱贫瘠,是我国造林极端困难的立地之一^[5-6]。如何按照适地适树的造林基本准则,选择符合该区水分承载力的植被恢复树种及栽植模式是造林成败的关键所在。虽然不少学者对干热河谷区植被恢复树种水分生理特性展开了一定的研究^[7-9],积累了一些认识,但由于所涉及树种的数量较少,且主要集中于单叶水平的比较,对多树种整株苗木蒸腾耗水特性缺乏研究,难以形成有效的系统结论。鉴于此,本文采用快速称重法^[10],对金沙江干热河谷区 20 多种植被恢复树种苗木在供水良好时蒸腾耗水规律进行了研究,以期对干热区造林树种选择及配置提供理论与实践依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验设置在云贵高原云南省境内金沙江中段的元谋县,为典型的干热河谷区。雨季约 5 个月(6—10 月),降水集中,空气闷热;干季 6~7 个月(11 月至翌年 5 月),主要在 3—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

2005 年 1 月共收集金沙江干热河谷区有代表性的树种 28 个(表 1)。所有材料都在 2005 年 2 月中下旬进行盆植,每盆 1 株。盆栽土壤采用当地燥红土,统一过筛称质量,带土瓦盆 15 kg,盆子规格为:高 30 cm,直径 35 cm。

表 1 金沙江干热河谷区有代表性的 28 个树种

编号	树种	拉丁学名	编号	树种	拉丁学名
1	滇刺枣	<i>Ziziphus mauritiana</i> Lam.	15	杞木	<i>Carallia longipes</i> Roxb.
2	苏门答腊金合欢	<i>Acacia glauca</i> (L.) Moelichl	16	大叶女贞	<i>Ligustrum lucidum</i> Ait
3	久树	<i>Schleichera oleosa</i> (Bur) Oken	17	夹竹桃	<i>Nerium indicum</i> Mill
4	大叶相思	<i>Acacia auriculaeformis</i> A. Cunn	18	尾叶桉	<i>Eucalyptus urophylla</i> S. T. Blake
5	马占相思	<i>Acacia mangium</i> Willd	19	兰桉	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill
6	墨西哥柏	<i>Cupressus lusianica</i> Mill	20	黄花槐	<i>Sophora xanthantha</i> C. Y. Ma
7	干香柏	<i>Cupressus duclouxiana</i> Hickel	21	赤桉	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehn
8	圆柏	<i>Sabina chinensis</i> (L.) Ant	22	黑荆	<i>Acacia meamsii</i> De Wild
9	攀枝花	<i>Bambusa malabaricum</i> DC.	23	新银合欢	<i>Leucaena leucocephala</i> cv Salvador
10	云南松	<i>Pinus yunnanensis</i> Franch	24	车桑子	<i>Dodonaea viscosa</i> (L.) Jacq
11	山合欢	<i>Albizia kalkora</i> (Roxb.) Prain	25	山毛豆	<i>Tephrosia candida</i> DC.
12	聚果榕	<i>Ficus racemosa</i> L.	26	小桐子	<i>Jatropha curcas</i> L.
13	木麻黄	<i>Casuarina equisetifolia</i> L.	27	印楝	<i>Azadirachta indica</i> A. Juss
14	余甘子	<i>Phyllanthus emblica</i> L.	28	木豆	<i>Cajanus cajan</i> (L.) Mill

1.3 试验方法

于 2005 年 2 月份进行播种育苗、移植苗收集及装盆培育工作。在 2005、2006 年选择干热季节 (3 月份) 及湿季 (10 月份) 的典型晴天对试验树种盆栽苗蒸腾耗水的日、季节变化进行测定, 采用适于野外试验的快速称重法测定, 称重天平为德国生产的 Sartorius—B12 电子天平, 精度达 0.1 g。

根据盆栽苗生长状况, 于 2005 年 10 月选取生长旺盛的 14 种阔叶树种盆栽苗各 5 盆, 连续 (每 2 h 1 次) 称质量, 测定雨季后供试盆栽苗的蒸腾耗水量; 于 2006 年 3 月, 在光照强度、温度及湿度相似的 5 个典型晴天里对 25 种树种盆栽苗连续 (每 2 h 1 次) 称质量, 测定干季典型晴天盆栽土壤充分供水以及土壤水分持续干旱条件下的盆栽苗蒸腾耗水量, 以探讨干热环境中盆栽苗的蒸腾耗水特性, 并对干、湿季均有测试的 11 个树种在土壤水分充足条件下的蒸腾耗水特性的季节差异进行了探讨, 每树种设 3 次重复。每次试验前均对参试盆栽苗充分浇水 3 d, 然后用保鲜薄膜密封盆栽土壤, 并用塑料袋套住整个花盆, 防止土壤水分蒸发失水, 日变化测定时间为 8:00、10:00、12:00、14:00、16:00、18:00、20:00。采用叶片计数法和抽样叶面积扫描法测定叶面积, 云南松、圆柏、干香柏、墨西哥柏及木麻黄的叶面积采用双面扫描法估算。每次称质量的同时用 Licor-6400 便携式光合测定系统记录光照强度、温度及湿度等环境因子, 各项因子具体情况详见参考文献

[8]。采用变动系数描述叶水势日变化幅度^[11], 采用 SPSS 统计软件进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 干热河谷区主要植被恢复树种苗木蒸腾耗水量与耗水速率的比较

2.1.1 干热季节主要植被恢复树种苗木蒸腾耗水量与耗水速率的比较 典型干热天气树种的蒸腾耗水特性是干热河谷植被恢复造林的重要评估因子。从表 2 可知: 在干热的 3 月份, 25 个树种全天的蒸腾耗水量为 171.80 ~ 731.00 g, 其中, 白天 12 h 的蒸腾耗水量为 147.10 ~ 631.70 g, 夜晚 12 h 的蒸腾耗水量为 19.33 ~ 101.70 g, 各树种夜晚的蒸腾耗水量占全天耗水量的 8.84% ~ 21.17%, 这表明, 在干热天气, 白天是各树种蒸腾失水的主要时段, 而夜晚亦是各树种全天蒸腾失水的重要组成部分。25 个树种全天的蒸腾耗水量按大小可分为 4 类: 即黑荆、兰桉 > 大叶相思、新银合欢、干香柏、黄花槐 > 杞木、赤桉、墨西哥柏、尾叶桉、聚果榕、木麻黄、车桑子、金合欢、圆柏、大叶女贞、余甘子、夹竹桃、滇刺枣 > 马占相思、山毛豆、久树、山合欢、攀枝花、云南松。黑荆的全天蒸腾量最大, 分别是第 4 类的马占相思、山毛豆、久树、山合欢、攀枝花、云南松的 2.64、2.73、2.75、3.18、3.89、4.25 倍, 这表明, 在充分供水条件下, 不同植被恢复树种苗木在干热季节里的实际蒸腾耗水量存在较大差异。

表 2 干热季节 (3 月份) 的典型晴天日 25 个树种盆栽苗蒸腾耗水量与耗水速率

树种	耗水量 / g		白天平均耗水速率 / (mmol · m ⁻² · s ⁻¹)	叶面积 / m ²	树种	耗水量 / g		白天平均耗水速率 / (mmol · m ⁻² · s ⁻¹)	叶面积 / m ²
	白天	夜晚				白天	夜晚		
滇刺枣	250.77	59.07	6.91	0.019 2	余甘子	287.43	52.90	2.06	0.240 7
金合欢	322.47	57.03	3.26	0.184 4	杞木	404.77	69.20	2.79	0.246 9
久树	209.70	56.30	1.30	0.210 5	大叶女贞	296.83	63.50	0.98	0.314 3
大叶相思	498.47	83.70	1.82	0.343 7	夹竹桃	270.63	41.67	2.78	0.105 6
马占相思	232.10	44.30	2.45	0.068 7	尾叶桉	345.90	82.97	1.61	0.183 5
墨西哥柏	373.00	76.53	0.95	0.433 4	兰桉	566.00	83.37	2.19	0.219 1
干香柏	433.60	101.70	2.11	0.268 6	黄花槐	449.17	70.23	6.36	0.146 7
圆柏	306.47	61.80	1.14	0.324 2	赤桉	424.83	45.30	1.38	0.536 0
攀枝花	168.60	19.33	3.26	0.060 7	黑荆	631.70	99.30	1.84	0.371 4
云南松	147.10	24.70	2.21	0.117 1	新银合欢	497.27	48.33	2.39	0.144 8
山合欢	202.60	27.47	2.82	0.074 0	车桑子	363.63	35.27	3.58	0.297 6
聚果榕	362.70	64.13	6.43	0.067 0	山毛豆	225.23	42.97	3.09	0.077 9
木麻黄	380.03	41.93	18.73	0.034 5					

除木麻黄外, 试验树种白天平均蒸腾耗水速率为 0.95 ~ 6.91 mmol · m⁻² · s⁻¹, 按其大小供试树种可聚为 4 类: 高蒸腾耗水速率树种, 包括滇刺枣、

聚果榕、黄花槐; 亚高蒸腾耗水速率树种, 包括车桑子、金合欢、攀枝花、山毛豆、山合欢、杞木、夹竹桃; 亚低蒸腾耗水速率树种, 包括马占相思、新银

合欢、云南松、兰桉、干香柏、余甘子、黑荆、大叶相思、尾叶桉；低蒸腾耗水速率树种，包括赤桉、久树、圆柏、大叶女贞、墨西哥柏。高蒸腾耗水速率树种滇刺枣的白天平均蒸腾耗水速率最大，分别是低蒸腾耗水速率树种赤桉、久树、圆柏、大叶女贞及墨西哥柏的 5.01、5.32、6.06、7.05、7.27 倍。木麻黄耗水速率异常大，这与其叶片形状特征所导致的较大程度地低估叶总面积有关。以上结果表明，在充分供水条件下，不同植被恢复树种的苗木在干热季节里的蒸腾耗水潜力差异明显，同时亦说明在高温、低湿的胁迫环境中，不同树种苗木在根系供水充分时的耗水策略的区别。

由表 2 还看出：绝大部分树种的全天蒸腾耗水量和白天平均蒸腾耗水速率的排序位置或所属类别差异较大，如黑荆和兰桉的全天蒸腾耗水量最大，但两树种的白天平均蒸腾耗水速率却较小，属于亚低蒸腾耗水速率类别，这主要是由于各树种苗木的叶面积与叶片蒸腾速率的大小并非成正比性增大或减少的缘故。影响苗木蒸腾耗水量的自身因子是叶面积与蒸腾速率，在特定条件下，树种蒸腾速率是其内在水分生理属性，相对稳定，而叶面积则随苗木的年龄、大小及种类而变，为不稳定因子。因此，苗木蒸腾耗水量是衡量不同树种实际耗水能力的参考指标，而苗木蒸腾耗水速率可作为比较不同树种蒸腾

耗水特性的指标。

2.1.2 湿季主要植被恢复树种苗木蒸腾耗水量与耗水速率的比较 适当的降雨量是金沙江干热河谷区植被生存的保障，亦是该区植被恢复的必要条件。由表 3 可知：在湿季 10 月份，14 个阔叶树种苗木在典型晴天里全天的蒸腾耗水量为 204.06 ~ 303.28 g，其中，白天 12 h 的蒸腾耗水量为 179.16 ~ 270.70 g，夜晚 12 h 的蒸腾耗水量为 22.08 ~ 38.04 g，各树种苗木夜晚的蒸腾耗水量占全天耗水量的 8.24% ~ 15.12%。14 种苗木的全天蒸腾耗水量的比较结果为：杞木 (303.28 g) > 小桐子 (283.66 g) > 兰桉 (279.20 g) > 大叶女贞 (279.02 g) > 夹竹桃 (269.80 g) > 木豆 (269.06 g) > 尾叶桉 (250.36 g) > 大叶相思 (245.18 g) > 印楝 (243.44 g) > 聚果榕 (233.30 g) > 攀枝花 (226.60 g) > 山毛豆 (223.02 g) > 久树 (215.66 g) > 车桑子 (204.06 g)。

在湿季的典型晴天里，14 种苗木白天 12 h 的平均耗水速率为 $0.82 \sim 2.12 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ，按其大小聚为 2 类：较小的一类包括尾叶桉、大叶女贞、久树、聚果榕、大叶相思、兰桉、小桐子、印楝，相对大的一类为车桑子、夹竹桃、木豆、山毛豆、攀枝花和杞木（表 3）。这表明，在大气干热环境胁迫解除的湿季里，由于树种的特性不同，供试苗木的白天蒸腾耗水量和耗水速率亦存在明显差异。

表 3 湿季 (10 月份) 的典型晴天日 14 个树种盆栽苗的蒸腾耗水量与耗水速率

树种	耗水量 /g		白天平均耗水速率 / ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	叶面积 / m^2	树种	耗水量 /g		白天平均耗水速率 / ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	叶面积 / m^2
	白天	夜晚				白天	夜晚		
杞木	270.70	32.58	2.12	0.1643	大叶相思	216.70	28.48	1.12	0.2486
大叶女贞	246.42	32.60	0.83	0.3821	山毛豆	196.22	26.80	1.70	0.1487
久树	187.56	28.10	0.95	0.2538	攀枝花	202.40	24.20	1.90	0.1368
小桐子	260.28	23.38	1.27	0.2645	尾叶桉	223.26	27.10	0.82	0.2945
印楝	221.36	22.08	1.35	0.2103	兰桉	241.16	38.04	1.13	0.2751
聚果榕	198.02	35.28	0.95	0.2672	木豆	241.02	28.04	1.68	0.1841
夹竹桃	237.48	32.32	1.55	0.1969	车桑子	179.16	24.90	1.54	0.1498

2.1.3 季节变化对干热河谷中主要植被恢复树种苗木蒸腾耗水量与耗水速率的影响 从图 1 可知：季节变化对苗木在典型晴天的白天蒸腾耗水量及白天平均耗水速率有明显的影响；除攀枝花外，其它树种在干热的 3 月份的白天蒸腾耗水量均比湿季 10 月份的大，其中，兰桉、大叶相思、车桑子、聚果榕、尾叶桉和杞木在干、湿季的白天蒸腾耗水量差异较大，3 月份的白天蒸腾耗水量分别是 10 月份的 2.35、2.30、2.03、1.83、1.55、1.50 倍，而大叶女贞、山毛豆、夹竹桃和久树在干、湿季的蒸腾耗水量均差异较

小，攀枝花则表现为湿季 (10 月份) 的蒸腾耗水量略大于干季 (3 月份)，这主要由干季时苗木叶面积减少所致。11 个供试树种的白天平均蒸腾耗水速率干季均比湿季的大，由于受 3 月份干热环境的胁迫，聚果榕、车桑子、尾叶桉、兰桉、山毛豆、夹竹桃、攀枝花、久树、大叶相思、杞木和大叶女贞的白天平均蒸腾耗水速率较湿季分别增加了 5.77、1.33、0.96、0.94、0.82、0.79、0.72、0.37、0.63、0.32 和 0.18 倍。这表明，在土壤水分充足的条件下，除光照强度与温度带来的一定差异外，大气干旱是苗木蒸腾失水的

主要原因,且失水强度因树种而异。干热天气加剧了参试树种的蒸腾作用,增强了蒸腾失水的速度,致使参试树种在干热季节里更易遭受水分的胁迫或危害,这亦是干热河谷区植被恢复树种造林成活率及保存率低的一个重要原因。从图 1 可明显地看出: 11 个供试树种在 10 月份的蒸腾耗水量与蒸腾耗水速率的大小排列顺序与 3 月份不一致,如车桑子在 3

月份的蒸腾耗水量排在第 4 位,而在 10 月份则排在第 11 位;聚果榕在 3 月份的蒸腾耗水速率排在第 1 位,而在 10 月份却排第 8 位,这表明,由于树种特性的差异,此 11 个树种蒸腾耗水量与蒸腾耗水速率受季节影响的程度不一。总地来看,干旱季节里试验树种的蒸腾耗水量与蒸腾耗水速率具有更大的变异幅度。

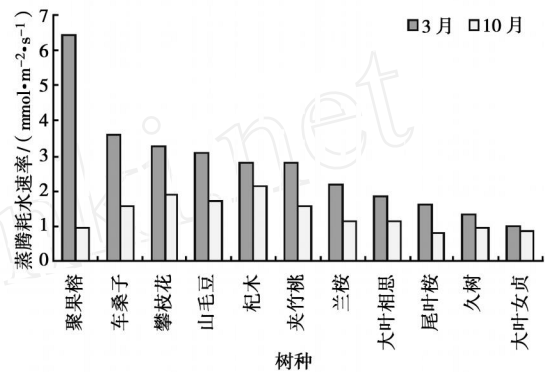
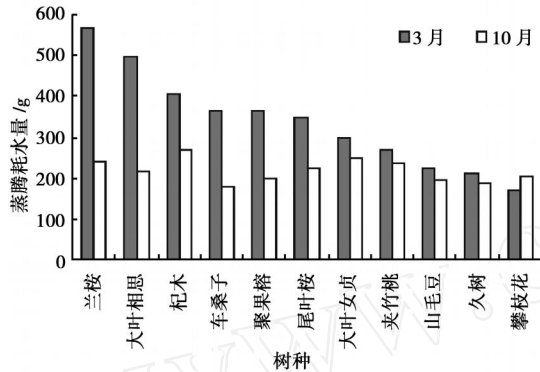


图 1 干热季(3月)和湿季(10月)对 11 种供试苗的白天蒸腾耗水量与白天平均蒸腾耗水速率的影响

2.2 苗木蒸腾耗水量与耗水速率的日变化特征

2.2.1 苗木蒸腾耗水量的日变化特征及其季节效应

蒸腾耗水量的日变化规律是树种在特定环境条件下表现出的实际耗水进程,对了解树种在特定环境条件下的特定时刻的需水特性具有重要意义。从图 2 可看出:无论在干季,还是湿季,所有供试树种苗木蒸腾耗水量的日变化均呈单峰状分布,表现为先上升后下降的规律,这种变化规律与主要气象因子光照强度、相对湿度及温度的日变化分别呈正、反、正的相关关系,即苗木蒸腾耗水量随光照强度的增强、相对湿度的降低及温度的升高而增大。

在干热的 3 月份,25 个树种中的 18 个树种的蒸腾耗水量日变化峰值出现在 14:00 - 16:00 时段,夹竹桃、尾叶桉、兰桉、赤桉、新银合欢、黑荆和黄花槐

等 7 个树种的峰值出现在 12:00 - 14:00。在湿季的 10 月份,14 个树种中的 11 个树种的蒸腾耗水量日变化峰值出现在 12:00 - 14:00 时段,仅小桐子、夹竹桃和尾叶桉等 3 个树种的峰值出现在 14:00 - 16:00。很明显,干热胁迫推迟了大部分树种蒸腾耗水量日变化峰值出现的时间,而在湿季,由于干热胁迫的解除,大部分供试树种的蒸腾耗水量日变化峰值较干热季有所提前。特殊的例子是,夹竹桃和尾叶桉在湿季的峰值较干热季节时更为靠后,这可能与 2 个树种自身特性有关。采用抛物线方程可对所有供试树种苗木蒸腾耗水量的日变化分布数据作出高精度的拟合,如在干热季节,日蒸腾量分居大、中、小 3 类的黑荆、金合欢与攀枝花的拟合精度(相关指数)分别达 0.998 4、0.955 3 和 0.891 3。

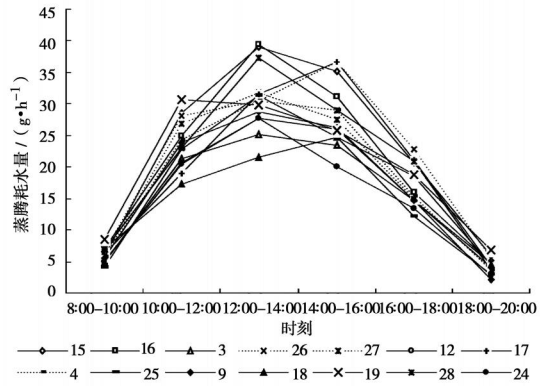
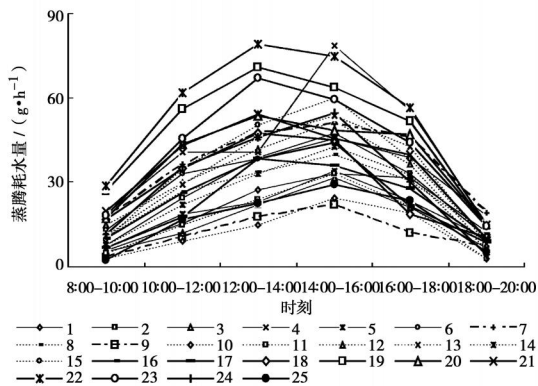


图 2 25 个树种在干热季节(左图)及 14 个树种在湿季(右图)的蒸腾耗水量的日变化(图例中的数字为树种编号与表 1 一致,下同。)

在干热季节(3月份),25个树种的蒸腾量日变化值的变动系数在 0.41~0.72 间变化,可聚为大、中、小 3 类,其中,山合欢和云南松的变动系数最大,分别为 0.69、0.72,墨西哥柏、干香柏、圆柏、兰桉、赤桉、黄花槐和黑荆的变动系数最小,金合欢、新银合欢、车桑子等 16 个树种居中,这说明山合欢和云南松在干热天气里的蒸腾量日变化受环境因子日变化的影响相对较大,而 3 种柏树在内的 7 个树种所受的影响相对较小。在湿季(10月份),14 个树种的蒸腾量日变化值的变动系数在 0.45~0.72 间变化,同样可聚为大、中、小 3 类,其中,山毛豆的变动系数最大,达 0.72,尾叶桉与兰桉的变动系数最小,均为 0.52,另外 11 个树种居中,这说明山毛豆在相对湿润季节里的蒸腾量的日变化受环境因子日变化的影响相对较大,而尾叶桉和兰桉所受的影响最小。3 月份与 10 月份均有的 11 个参试树种中,杞木、大叶女贞、聚果榕、夹竹桃、大叶相思、山毛豆、攀枝花、兰桉和车桑子等 9 个树种的苗木蒸腾量日变化的变动系数均是 10 月份的比 3 月份的大,仅尾叶桉和久树与之相反,这表明,对绝大多数参试树种而言,干热胁迫降低了蒸腾量的日变化幅度。

2.2.2 苗木蒸腾耗水速率的日变化特征及其季节

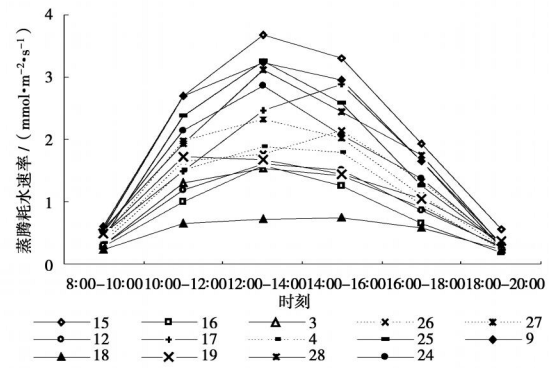
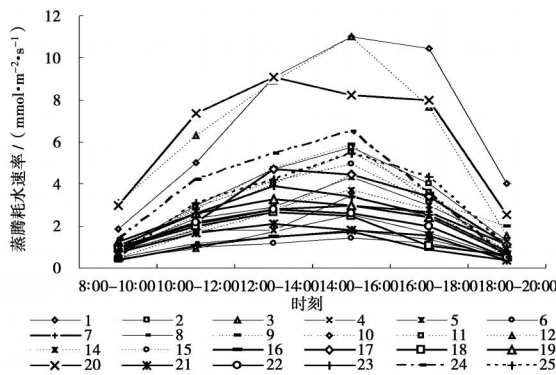


图 3 24 个树种在干热季(左图)及 14 个树种在湿季(右图)的蒸腾耗水速率日变化

此外,从图 4 可发现:无论在干热的 3 月份,还是在湿润的 10 月份,供试树种苗木的白天蒸腾耗水量与耗水最大值间存在极显著的线性相关关系,白天平均蒸腾耗水速率与白天蒸腾耗水速率最大值间亦存在极显著的线性相关性。这表明,干热河谷区植被恢复树种的苗木白天蒸腾耗水量或白天平均蒸腾耗水速率可由各自的最大值予以准确预估。

2.2.3 土壤持续干旱胁迫条件下苗木蒸腾耗水量日变化特征 图 5 显示:不同干旱时期苗木蒸腾耗水量在一天当中总体上呈现先增大后减小的变动规

律,这与干热季节中典型晴天里的光照强度、温度及湿度等自然气象因子的日变化进程相吻合,且随着干旱处理天数的增加,苗木所受到的水分胁迫日趋严重,各天相同时段的蒸腾耗水量均呈下降趋势。在干旱处理的第 1 天,25 个供试树种的蒸腾耗水量日变化进程均呈典型的单峰状分布;第 2 天,22 个树种的蒸腾耗水量峰值出现在 14:00 - 16:00,银合欢的峰值出现在 12:00 - 14:00,尾叶桉和兰桉的峰值则出现得更早,在 10:00 - 12:00,25 个树种中有 6 个呈现不对称的双峰状分布,它们是干香柏、圆柏、

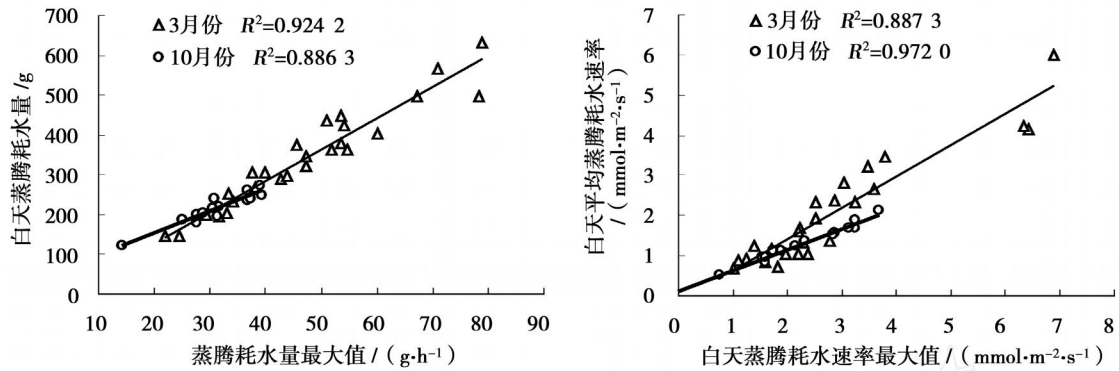


图 4 不同季节主要植被恢复树种白天蒸腾耗水量、平均耗水速率与蒸腾耗水量、平均耗水速率最大值的关系

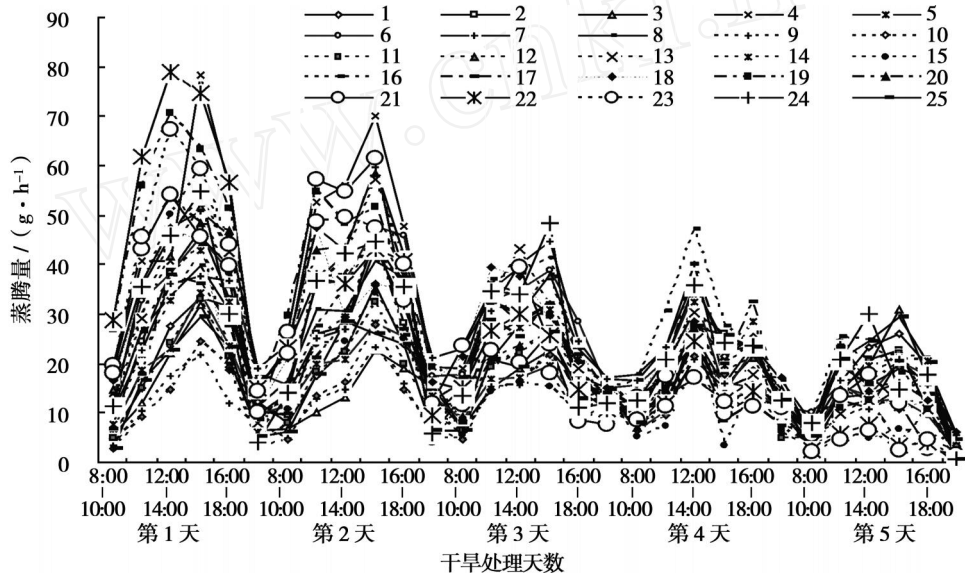


图 5 3月份不同干旱处理天数时苗木蒸腾耗水量的日变化

尾叶桉、兰桉、赤桉与黑荆;第 3 天,大叶相思、尾叶桉、兰桉和新银合欢(4个)的峰值在 10:00 - 12:00,木麻黄、杞木、赤桉与黑荆(4个)的峰值在 12:00 - 14:00,其余 17 个树种的峰值在 14:00 - 16:00,其中,夹竹桃、黄花槐、新银合欢、车桑子和山毛豆等 5 个树种呈不对称双峰状分布;第 4 天,25 个树种的蒸腾耗水量日变化峰值均出现在 12:00 - 14:00,19 个树种呈现不对称或接近于对称的双峰状分布,仅苏门答腊金合欢、马占相思、大叶女贞、赤桉、车桑子和山毛豆等 6 个树种呈单峰状分布;第 5 天,7 个树种的蒸腾耗水量日变化峰值出现在 10:00 - 12:00,分别是墨西哥柏、圆柏、大叶女贞、夹竹桃、尾叶桉、黄花槐和黑荆,5 个树种的峰值出现在 12:00 - 14:00,其余 13 个树种的峰值出现在 14:00 - 16:00,其中,大叶相思、马占相思、墨西哥柏、圆柏、云南松、山合欢、余甘子、杞木、夹竹桃、尾叶桉、兰桉、黑荆、新

银合欢和车桑子等 14 个树种呈现不对称或接近于对称的双峰状分布。

上述试验结果表明:当土壤水分条件良好时,在干热河谷区干旱季节的典型晴天里,随着土壤水分干旱胁迫的加深,苗木蒸腾耗水量的日变化峰值有所提前,单峰态类型有向多峰态类型过渡的趋势,且不同树种峰值提前的程度及由单峰态向多峰态过渡的时刻不同。如忽略因 5 个典型晴天的各项气象因子的微小差异所引起的偏差,苗木蒸腾耗水量日变化峰值的提前及向多峰态转移的原因可能与不同苗木蒸腾耗水量对干旱胁迫的不同适应特性有关,其诱因可能为苗木在受到干旱胁迫时所产生的蒸腾疲软,也就是说,在受到土壤干旱胁迫时,苗木不能象正常水分条件时那样维持一个较长的蒸腾耗水量及耗水速率高峰期,且其峰值受到制约而更易呈现多峰态。

3 结论

蒸腾耗水量是一个树种在存在严重季节性干旱的气候区里是否适宜及栽培生态习性的重要表现指标。本文采用快速称重法对金沙江干热河谷区 20 多种植被恢复树种盆栽苗木的蒸腾耗水规律进行了研究,得到以下几点主要结论:

(1)在干热的 3 月份,25 个供试树种全天蒸腾耗水量的变化范围为 171.80 ~ 731.00 g,白天蒸腾耗水量占全天耗水量的 78.83% ~ 91.16%。

(2)在湿季 10 月份,14 个供试阔叶树苗在典型晴天里全天的蒸腾耗水量的变化范围为 204.06 ~ 303.28 g,白天 12 小时的平均耗水速率为 0.82 ~ 2.12 $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

(3)大部分苗木干热季的蒸腾耗水量均比湿季的大,干热季的蒸腾耗水速率也均比湿季的大,季节变化对苗木在典型晴天日的全天蒸腾耗水量及白天平均耗水速率具有明显的影响;干热天气加剧了参试盆栽苗的蒸腾作用,增强了蒸腾失水的速度,致使参试树种在干热季节里更易遭受水分胁迫或危害。

(4)在干热季和湿季,在水分条件充足的条件下,所有供试树种盆栽苗的蒸腾耗水量的日变化均呈单峰状分布,季节性干热胁迫推迟了大部分树种蒸腾耗水量日变化峰值出现的时间;对绝大多数参试树种而言,干热胁迫降低了蒸腾量的日变化幅度。

(5)在充分供水条件下,供试树苗蒸腾耗水量

及耗水速率日变化的单峰分布特征不受大气干旱胁迫程度的影响,而随着土壤干旱胁迫加深,苗木蒸腾耗水量的日变化峰值有所提前,单峰态类型有向多峰态类型过渡的趋势。

参考文献:

- [1] 张建国,李吉跃,沈国舫,等. 树木耐旱特性及其机理研究 [M]. 北京:中国林业出版社,2000
- [2] 周平,李吉跃,招礼军. 北方主要造林树种苗木蒸腾耗水特性研究 [J]. 北京林业大学学报,2002,24(6): 50 - 55
- [3] 胡新生,王世绩. 树木水分胁迫生理与耐旱性研究进展及展望 [J]. 林业科学,1998,34(2): 77 - 89
- [4] 郭连生,田有亮. 9 种针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
- [5] 张荣祖. 横断山区干旱河谷 [M]. 北京:科学出版社,1996
- [6] 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
- [7] 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 [J]. 植物生态学报,2004,28(2): 186 - 190
- [8] 段爱国,张建国,张俊佩,等. 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 [J]. 林业科学研究,2007,20(2): 151 - 159
- [9] 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
- [10] 巨关升,刘奉觉,邓世错. 选择树木蒸腾耗水测定方法的研究 [J]. 林业科技通讯,1998(10): 12 - 14
- [11] 段爱国,张建国,童书振,等. 杉木人工林林分直径结构动态变化及其密度效应的研究 [J]. 林业科学研究,2004,17(2): 178 - 184