

元谋干热河谷桉树人工林生物量初步研究

杨 忠, 张建平, 王道杰, 张信宝

(中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

摘 要: 干热河谷人工林生长缓慢, 林分结构简单, 群落生物量较低。地面物质组成和地表侵蚀状况是影响干热河谷林木群落生物量的主要立地因素之一, 土壤入渗能力强的石质山地有利于高大乔木的生长, 桉树人工林生物量高, 而侵蚀严重的泥质山地则相反, 不利于高大乔木的生长, 桉树人工林生物量低。

关键词: 元谋干热河谷; 桉树; 生物量; 坡地类型

中图分类号: S718.55⁺6 文献标识码: A

金沙江干热河谷是我国典型脆弱生态区之一, 气候燥热干旱, 特别是在春季和初夏的植物生长季节, 水热矛盾尤为突出, 植被一旦遭到破坏, 便极难恢复重建, 以至多年来的造林工作收效甚微^{1,2}。因此, 查明金沙江干热河谷主要造林树种—桉树人工林的生物量、生物量结构变化规律及其影响因素, 对干热河谷的植被恢复工作具有重要的指导意义。

1 研究区概况和研究方法

研究样地位于元谋干热河谷区, 其地理位置为 25°25' N~26°07' N, 东经 101°35' E~102°05' E, 海拔 900 m~1 500 m。该区年均降雨量为 613.8 mm, 全年干湿季分明, 雨季(5~10月)降雨量为 611.3 mm, 占年降雨量的 92%, 年均蒸发量为 3 911.2 mm, 是降雨量的 6.2 倍, 年均相对湿度 53%, 年均干旱指数 2.8, 年平均气温为 21.9 °C, ≥10 °C 的年积温 8 003 °C, 年日照时数 2 670.4 h, 最热月(5月)月均温为 27.1 °C, 最冷月(12月)月均温为 14.9 °C, 基本无霜, 其气候与稀树草原(Savanna)气候相似¹。

元谋干热河谷地貌属侵蚀低山丘陵地貌, 冲沟极为发育, 其基带土壤为燥红土。我们以地面岩土组成为主要因子, 将元谋干热河谷坡地初步划分为四种坡地类型^{3~6}: (1)泥岩低山坡地; (2)片岩低山坡地; (3)砾石层丘陵坡地; (4)沙砾层低山坡地。不同类型坡地由于岩土组成和孔隙状况的不同, 对降

雨的入渗能力差异较大(见表 1)。

元谋干热河谷荒坡天然植被以坡柳+扭黄茅灌草丛为主, 为次生稀树草原植被类型^{7,8}。天然植被覆盖率极低, 1990 年全县森林覆盖率仅为 5.2%, 天然植被覆盖率低于 20%, 大部地区地表裸露, 水土流失十分严重, 许多地段土壤 A 层被冲蚀, 全县中度以上水土流失面积占国土面积的 50%⁹。近年来, 当地政府依托“长治”、“长防”等国家工程项目开展了大规模的以赤桉(*Eucalyptus camaldulensis Dehnl*)为主的植被恢复工作, 取得了较大的成效, 但由于干热河谷植被恢复难度较大, 同时缺乏科学理论的指导, 不同地点造林的成败差异较大。

为了查明干热河谷桉树人工林的生物量、生物量结构变化规律及其影响因素, 于 1998 年对四种坡地类型上种植的桉树人工林共设置了 14 块样地, 进行桉树人工林群落结构特征、桉树生长和生物量的调查和测定。样地面积 20 m×20 m, 调查树种为赤桉, 于 1991~1993 年采用营养袋育苗移栽造林, 林龄一般为 6 a~8 a。造林前采用水平带状壕沟整地, 壕沟深和宽均为 60 cm, 于 6 月份雨季定植, 成林前进行严格的封禁管理, 成林后部分调查样地受放牧等人为干扰的影响, 各样地的基本特征见表 2。按乔木、下木及草本的顺序登记全部样地植物种类、多度、高度、盖度、生活型和生长情况, 多度采用 Braun-Blanquet 多度等级记录。对样地内所有桉树

收稿日期: 2001-05-08; 改回日期: 2001-08-23。

基金项目: 国家自然科学基金(批准号: 49602041)、云南省环保局项目和成都山地所所长基金资助。

作者简介: 杨忠(1964-), 男, 硕士, 副研究员。主要从事环境整治、植被退化及其恢复重建、农业生态系统等研究, 发表论文 10 余篇。

表1 调查样地的基本特征

Table 1 Some characteristics of the plots in the arid-hot valleys Yuamou

地点 Site	样方 Plot	海拔高度 Altitude (m)	坡向 Slope Direction	坡位 Location	坡度 Slope (degree) (°)	坡地类型 Slope types	侵蚀情况 Soil erosion	土壤入渗 速率 Soil percolation (mm/min)	种植模式 Mixed model	种植规格 Row spacing & spacing in the row	人为干扰 Human activity
小横山 Xiaohengshan	YM8	1080	SW20	下部	5	泥岩低山坡地 M	强度片蚀	0.06	桉树纯林	3.3m×1m	强度
	YM7	1055	S	中部	20	泥岩低山坡地 M	强度片蚀	0.18	桉树×坡柳	3.3m×1m	中度
	YM6	1070	S	上部	15	砾石层丘陵坡地 G	强度片蚀	0.67	桉树×坡柳	3.3m×1.5m	中度
	YM19	1045	S	中下部	8	泥岩低山坡地 M	轻度片蚀	1.30	树纯林	3m×1m	中度
	YM18	1070	S	上部	18	砾石层丘陵坡地 G	中度片蚀	2.10	桉树×金合欢	3m×1m	中度
哨房坡 Shaofangpo	YM16	1160	N	下部	2	泥岩低山坡地 M	强度片蚀	0.17	桉树纯林	3.3m×1m	轻度
	YM11	1165	NE45	中下部	5	泥岩低山坡地 M	轻度片蚀	0.23	桉树纯林	3.3m×1.5m	轻度
	YM13	1170	NE45	中上部	10	砾石层丘陵坡地 G	轻度片蚀	2.20	桉树×坡柳	2.5m×1m	轻度
	YM14	1175	NE45	上部	10	砾石层丘陵坡地 G	强度片蚀	—	桉树×坡柳	2.5m×1m	轻度
大空 Dakong	YM23	1220	NW55	中下部	10	泥岩低山坡地 M	强度片蚀	0.63	桉树纯林	2m×1m	中度
	YM21	1220	NW30	中下部	8	沙砾层低山坡地 S	强度片蚀	6.63	桉树纯林	2.5m×1m	中度
	YM22	1280	NW20	中部	15	裂隙发育片岩低山坡地 S	强度片蚀	1.60	桉树×坡柳	2.5m×1m	中度
丙间 Bingjian	YM17	1275	NE55	中下部	2	砾石层丘陵坡地 G	强度片蚀	0.03	桉树纯林	3m×1m	中度
	YM20	1210	NE45	下部	2	潮润谷地 V	轻度片蚀	—	桉树纯林	3.3m×1m	轻度

用常规的测树学方法作每木检尺调查,以每木检尺的结果,在样地内伐倒平均木一株,用分层切割法测定平均木地上部分生物量。根系生物量以主根为中心,按定植株行距分层挖取测定,挖深 1 m。林分生物量用平均木生物量乘以种群密度计算。灌木层、草本层和枯枝落叶层现存量测定采用直接收获法测定,即全部伐下样方内所有植物进行实测称重,样方面积分别为 10 m×10 m、2 m×2 m 和 1 m×1 m。叶面积采用画纸称重法测定。

2 结果和讨论

2.1 元谋干热河谷桉树人工林的群落学特征

元谋干热河谷桉树人工林虽然可以分为乔木、灌木和草本三层,但林分结构简单,灌木层和草本层植物种类和数量较少,乔木层和林下植物高差较大,成层性不明显,多呈单层性林相。

各调查样地乔木层均以桉树为单一树种,无伴生种。桉树树高、胸径及郁闭度因立地条件的不同而差异较大(见表 2),树高一般为 3.5 cm~8.8 m,胸径为 2.7 cm~9.2 cm,郁闭度为 0.20~0.95。由表 2 可见,元谋干热河谷桉树人工林种群密度较大,由此可能导致干旱季节土壤水分供应的严重亏缺。灌木层和草本层则保留了干热河谷“坡柳扭黄茅灌草丛”植被的遗迹,除样地 YM18 为桉树与苏门答腊金合欢(*Acacia glauca*)混交外,灌丛以坡柳(*Dodonaea viscosa*)为绝对优势种,高度为 50 cm~200 cm,盖度低于 30%。草本层以扭黄茅(*Heteropogon contortus*)为绝对优势种,高度为 10 cm~110 cm,盖度低于 40%。各调查样地灌草丛植物的种类、数量、高度等群落特征因受种植模式和人为干扰的

影响而无明显的规律性(见表 2)。可见,元谋干热河谷桉树人工林尚未演替为稳定的群落结构,尚需进行抚育管理。由于林下植被稀疏,并且呈零星分布,人工林未能完全起到较好的水保效果,地表冲刷沟较常见。

2.2 元谋干热河谷桉树人工林群落生物量

元谋干热河谷桉树人工林群落生物量除少部分潮润沟谷地和“四旁”桉树人工林外,丘坡地上 6 a~10 a 林龄的桉树人工林群落总生物量为 $10 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \sim 55 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,其中,乔木层桉树生物量是群落生物量的绝对优势组分,其高低决定了群落总生物量的高低,桉树生物量占群落总生物量的比例为 88.88%~98.16%,灌木层生物量的比例为 0.12%~8.66%,草本层生物量的比例为 0.59%~9.50%,枯枝落叶层生物量的比例为 0.26%~1.88%(见表 3)。可见,元谋干热河谷桉树人工林群落生物量远低于其它热带、亚热带旱性地区天然林和人工林群落生物量($100 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \sim 200 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)¹⁰⁻¹⁴,说明干热气候条件对植被生长的影响。

从表 3 可以看出,5 a~21 a 人工林群落生物量随林龄的增大而不断增大,在相似林龄的种群中,生物量受立地条件的影响较大。初步试验分析表明,地面物质组成和地表侵蚀状况是影响干热河谷区桉树群落生物量的主要立地因素之一,潮润谷地生物量最高,8 a 林龄生物量为 $94.324 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,石质山地生物量次之,砾石层丘陵坡地上 8 a 林龄生物量为 $50.383 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,泥质山地生物量最低,在泥质山地上地表冲刷越强烈,生物量越低,8 a 林龄桉树在强度和轻度侵蚀泥质山地上的群落生物量分别为 $16.314 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $26.570 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

表 2 元谋干热河谷调查样地桉树人工林灌木层和草本层主要植物组成特征

Table 2 Main species of shrub and herb layer in E. Camaldulensis forest

调查地点 Site	样方 Plot	桉树密度 Density (Na l/m ²)	桉树郁闭度 Coverage (%)	桉树树高 Height (m)	桉树胸径 DBH (cm)	灌木层 Shrub layer			草本层 Herb later		
						主要植物种类 Main plant species	高度 Height (m)	总盖度 Coverage (%)	主要植物种类 Main plant species	高度 Height (m)	总盖度 Coverage (%)
小横山 Xiao Heng Shan	YM8	3069	0.20	3.59	2.79	坡柳 * (2) * *, 羊耳菊 (1)、截叶铁扫帚(1)	0.9	< 5	扭黄茅 (4)、白茅草 (2)、丽江画眉草 (2)、刺芒野古草 (1)、臭灵丹 (1)、双花草 (1)	0.4	20
	YM19	3267	0.60	6.22	4.03						
	YM7	2970	0.50	4.62	3.91	坡柳 (4)、羊耳菊 (1)、截叶铁扫帚 (1)	1.1	25	扭黄茅 (3)、丽江画眉草 (2)、刺芒野古草 (1)、臭灵丹 (1)	0.6	15
	YM6	3168	0.75	6.63	6.11						
哨房坡 Shao Fang Po	YM18	3267	0.80	7.82	6.11	金合欢 (4)、坡柳 (2)、羊耳菊 (1)、截叶铁扫帚 (1)	3.1	35	扭黄茅 (3)、丽江画眉草 (1)、刺芒野古草 (1)、臭灵丹 (1)	0.6	15
	YM11	2871	0.60	5.90	4.57	坡柳 (1)、马 鞍 羊 蹄 甲 (1)、树豆 (1)、蔓性千斤拔 (1)	0.5	< 5	扭黄茅 (4)、白茅草 (3)、大翼豆 (1)、菅草 (1)、刺芒野古草 (1)、臭灵丹 (1)	1.0	40
	YM16	3168	0.30	4.51	3.26						
	YM13	3861	0.75	7.27	5.60	坡柳 (4)、云 南 羊 蹄 甲 (2)、树豆 (1)、蔓性千斤拔 (2)、山合欢 (+)	1.4	30	扭黄茅 (4)、白茅草 (1)、大翼豆 (1)、旱茅 (1)、菅草 (1)、拟金茅 (2)、刺芒野古草 (1)	0.9	30
大空 Dakong	YM14	3960	0.70	6.78	5.46						
	YM21	3960	0.80	7.88	5.81	坡柳 (2)	0.7	5	扭黄茅 (2)、丽江画眉草 (2)、棕茅 (1)、小叶荩草 (2)、刺芒野古草 (1)、臭灵丹 (1)、细叶千里光 (1)、桔草 (2)、一点红 (1)	0.4	15
	YM23	4257	0.40	4.22	3.01	坡柳 (3)、黄 花 捻 (1)、截叶铁扫帚 (1)	0.9	20	扭黄茅 (2)、云 南 裂 稗 草 (2)、酸浆草 (1)、桔草 (1)、刺芒野古草 (1)、臭灵丹 (1)	0.6	10
丙间 Bing Jian	YM22	3366	0.75	5.34	5.19						
	YM17	3168	0.80	7.63	5.46	坡柳 (1)、云 南 羊 蹄 甲 (2)、金合欢 (1)	0.6	< 5	扭黄茅 (2)、蔓草虫豆 (1)、一点红 (1)、臭灵丹 (1)、刺芒野古草 (1)	1.1	20
	YM20	2871	0.95	8.80	9.20	坡柳 (3)、华 西 小 石 积 (2)、假杜鹃 (1)、截叶铁扫帚 (1)、大 叶 千 斤 拔 (1)、塞葵 (1)	1.9	25	扭黄茅 (4)、白茅草 (2)、双花草 (2)、臭灵丹 (1)、三叶鬼针草 (1)、蔓草虫豆 (1)、胜红蓼 (1)、白茅 (1)、细叶千里光 (1)	1.1	30

注: *坡柳: *Dodonaea viscosa*; 华西小石积: *Osteomeklos schverinae*; 截叶铁扫帚: *Lespedeza juncea*; 假杜鹃: *Barleria cristata*; 大叶千斤拔: *Flemingia macrophylla*; 塞葵: *Melastrom coronandelianum*; 黄花捻: *Sida acuta*; 台湾相思: *Acacia confusa* Mer.; 山合欢: *Albizia kalkora* (Roxb.) Prain; 木豆: *Cajanus cajan* (L.) Milbp.; 蔓性千斤拔: *F. albida*; 云南羊蹄甲: *Bauchinia yunnanensis*; 马鞍羊蹄甲: *B. fiber*; 羊耳菊: *Inula cappa*; 刺芒野古草: *Arundinella nepalensis*; 扭黄茅: *Heteropogon contortus*; 蔓草虫豆: *Alysicarpus scaberrimus*; 白茅: *Imperata cylindrica*; 胜红蓼: *Ageratum conyzoides*; 三叶鬼针草: *Bidens pilosa*; 臭灵丹: *Laggera*; 桔草: *Gymbopogon martinii*; 一点红: *Emilia sonchifolia*; 云南裂稗草: *Schizachyrium delavayi*; 酸浆草: *Oxalis corniculata*; 棕茅: *Eulalia phaeothrix*; 丽江画眉草: *Eragrostis japonica*; 大翼豆: *Macroptilium atropurpureum*; 白茅草: *Bothriochloa ischaemum*; 双花草: *Dichanthium annulatum*; 小菅草: *Themeda koeleri*; 茅叶荩草: *Arthraxon lanceolatus*; 拟金茅: *Eulaliopsis binata*.

** 括号内数字为 Braun-Blanquet 多度指数。

表 3 元谋干热河谷桉树人工林群落生物量

Table 3 Biomass of Longbeak Eucalyptus forest in the aid-hot valleys, Yuanmou

山地类型	地表特征(侵蚀、物质组成) Soil component Soil erosion	样方 Plot	林龄 Tree Age (a)	生物量 Biomass (kg)								
				乔木层 Tree		灌木层 Shrub		草本层 Herb		枯枝落叶层 Litter		合计 Total
				t/hm ²	%	t/hm ²	%	t/hm ²	%	t/hm ²	%	
泥质山地	强度片蚀	YM16	6	10.895	90.29	1.131	1.09	0.842	6.97	0.199	0.81	12.403
		YM7	8	14.517	88.99	1.413	8.66	0.341	2.09	0.043	0.26	16.314
	轻度片蚀	YM17	21	56.888	96.92	1.156	1.97	0.421	0.72	0.233	0.40	58.698
		YM11	6	23.505	92.18	0.211	0.83	1.304	5.12	0.480	1.88	25.500
石质山地	裂隙发育片岩	YM19	8	25.287	95.17	1.003	3.77	0.101	0.38	0.179	0.67	26.570
		YM22	5	42.189	92.25	1.818	3.98	1.136	2.48	0.592	1.29	45.735
	阶地砾石层	YM13	6	40.656	88.16	3.076	6.67	2.062	4.47	0.324	0.70	46.118
		YM6	8	47.510	94.36	2.036	4.04	0.555	1.10	0.251	0.50	50.353
	沙砾层	YM21	10	54.597	98.16	0.064	0.12	0.673	1.21	0.288	0.52	55.622
潮润谷地	轻度片蚀	YM20	8	88.321	93.64	3.436	3.64	1.616	1.71	0.951	1.01	94.324

Water 通过对荒漠的干旱地区粘质土、砂质土和裂隙发育的基岩三类岩土组成的理想地块土壤水分环境的分析后提出,在荒漠的干旱地区,高大乔木的水分供应与湿润地区相反,粘土形成了最干旱的生境,而沙土却有较好的水分条件,石质土提供了最潮湿的生境而可以生长高大乔木,粘土则不能^[15]。以上调查研究结果证实了 Water 的分析,在元谋干热河谷区,土壤入渗能力强的石质山地,降雨易于渗入土体深层储存,不易蒸发损失,水分条件好,有利于高大乔木的生长,桉树人工林生物量高,而侵蚀严重的泥质山地则相反,不利于高大乔木的生长,桉树人工林生物量低。我们的调查还表明,在侵蚀严重泥岩坡地上种植的桉树生长缓慢,大部分地段种植的桉树 6 a~10 a 后长成小老头树,导致造林工作的最

终失败,其研究结果将另文报道。因此,干热河谷的植被恢复应针对不同坡地类型生境的土壤水分条件,主要依靠优势生活型植物种类,进行乔灌草不同生活型植物类型的合理配置,建立起植被与生境土壤水分条件的群落生态关系,方能达到成功的目的。

2.3 元谋干热河谷桉树种群生物量及其结构特征

2.3.1 生物量在各器官的分配特征

元谋干热河谷桉树人工林各器官生长的趋势为:树干>根系>枝条>叶片(见表4),各器官生物量占总生物量的比例分别为:树干 46.12%~66.63%、枝条 5.21%~17.53%、叶片 3.05%~13.18%、根系 19.36%~29.27%。各器官占总生物量的比例因树龄和由于立地条件差异而引起的树体生长状况的不同而差异较大。

表4 元谋干热河谷桉树生物量在各器官的分布

Table 4 Biomass distribution among organs of Longbeak Eucalyptus in arid-hot valleys YUANMOU

坡地条件	地表特征(侵蚀、物质组成) Soil component Soil erosion	样方 Plot	林龄 Tree Age (a)	生物量 Biomass(kg)								
				树干 Stem		枝 Branch		叶 Leaf		根 Root		合计 Total
				t/hm ²	%							
泥质山地	强度片蚀	YM16	6	5.024	46.12	0.567	5.21	0.988	9.07	4.315	39.61	10.895
		YM7	8	9.281	63.93	1.375	9.46	0.472	3.25	3.386	23.32	14.517
		YM17	21	39.287	69.06	5.524	9.71	1.735	3.05	10.348	18.19	56.888
	轻度片蚀	YM11	6	11.452	48.72	4.091	17.41	3.032	12.90	4.930	20.97	23.505
		YM19	8	15.273	60.40	2.022	8.00	1.823	7.21	6.168	24.39	25.287
石质山地	裂隙发育片岩	YM22	5	20.115	47.68	5.695	13.50	6.574	15.58	9.805	23.24	42.189
	阶地砾石层	YM13	6	24.208	59.54	2.645	6.51	1.903	4.68	11.900	29.27	40.656
	阶地砾石层	YM6	8	27.720	58.35	5.877	12.37	2.972	6.25	10.942	23.03	47.510
	沙砾层	YM21	10	36.377	66.63	3.608	6.61	3.120	5.72	11.492	21.05	54.597
潮润谷地	轻度片蚀	YM20	8	49.975	56.58	10.396	11.77	10.855	12.29	17.094	19.36	88.321

表5 元谋干热河谷不同年龄桉树生物量的组成特征

Table 5 Biomass structure of Longbeak Eucalyptus trees

坡地类型	地表特征(侵蚀、物质组成) Soil component, Soil erosion	样方 Plot	林龄 Age	冠根比	枝叶指数	枝叶比	叶面积 指数 NAI (m ² /m ²)	
				<i>CRR</i>	<i>BNI</i>	<i>BNR</i>		
				W_{T+B+L}	W_{B+L}	W_B		
				W_R	W_{T+B+L}	W_L		
泥质山地	强度片蚀	YM16	6	1.53	0.24	0.57	0.83	
		YM17	8	3.62	0.19	2.92	0.84	
		YM17	21	3.80	0.18	3.18	1.31	
	轻度片蚀	YM11	6	3.77	0.38	1.35	1.60	
		YM19	8	3.10	0.20	1.11	1.14	
石质山地	裂隙发育片岩	YM22	5	3.30	0.38	0.87	2.45	
	阶地砾石层	YM13	6	3.51	0.18	1.43	1.74	
	阶地砾石层	YM6	8	3.56	0.22	0.99	2.60	
	沙砾层	YM21	10	3.75	0.26	1.16	2.21	
潮润谷地	轻度片蚀	YM20	8	4.17	0.30	0.96	3.61	

表5中干热河谷桉树叶面积指数(NAI)、冠根比(CRR)、枝叶指数(BNI)、枝叶比(BNR)等林木生物量结构指数随树龄的变化特征及其立地条件对它们影响的特点,充分地说明了生物量在各器官分配的变化趋势。冠根比随树龄的变化无明显的规律性,一般为3~4,较其它地区林木低,许多研究表明不同树种在不同年龄CRR值变化不大,在一定条件下,地上部与根系有同步增长的趋势^[9],因此,根系生物量比例的变化也无明显的规律性。但立地条件对冠根比有一定的影响,在干旱立地条件下根系发达,CRR值低,湿润立地条件下,CRR值高。

树干生物量占总生物量的比例随树龄的增大而提高,叶生物量的比例和枝叶指数随树龄的增大而降低,因此,树干生长积累快于其它器官,枝叶由于自然整枝枯损而积累慢。在侵蚀严重的泥质山地上,降雨入渗能力差,土壤贫瘠干旱,8a~21a枝叶比趋于稳定,说明干、枝、叶生长和分化定型,是数量成熟的标志之一,树体趋于老化,生物量缓慢上升,趋于稳定^[16]。在相似林龄条件下,潮润谷地、石质山地和轻度侵蚀泥质山地上桉树枝叶生物量比例、枝叶指数和叶面积指数高于侵蚀严重的泥质山地,表明干旱恶劣的立地条件主要是通过降低枝叶的生长积累和叶面积指数而影响林木的生长。

树干生物量占总生物量的比例随树龄的增大而

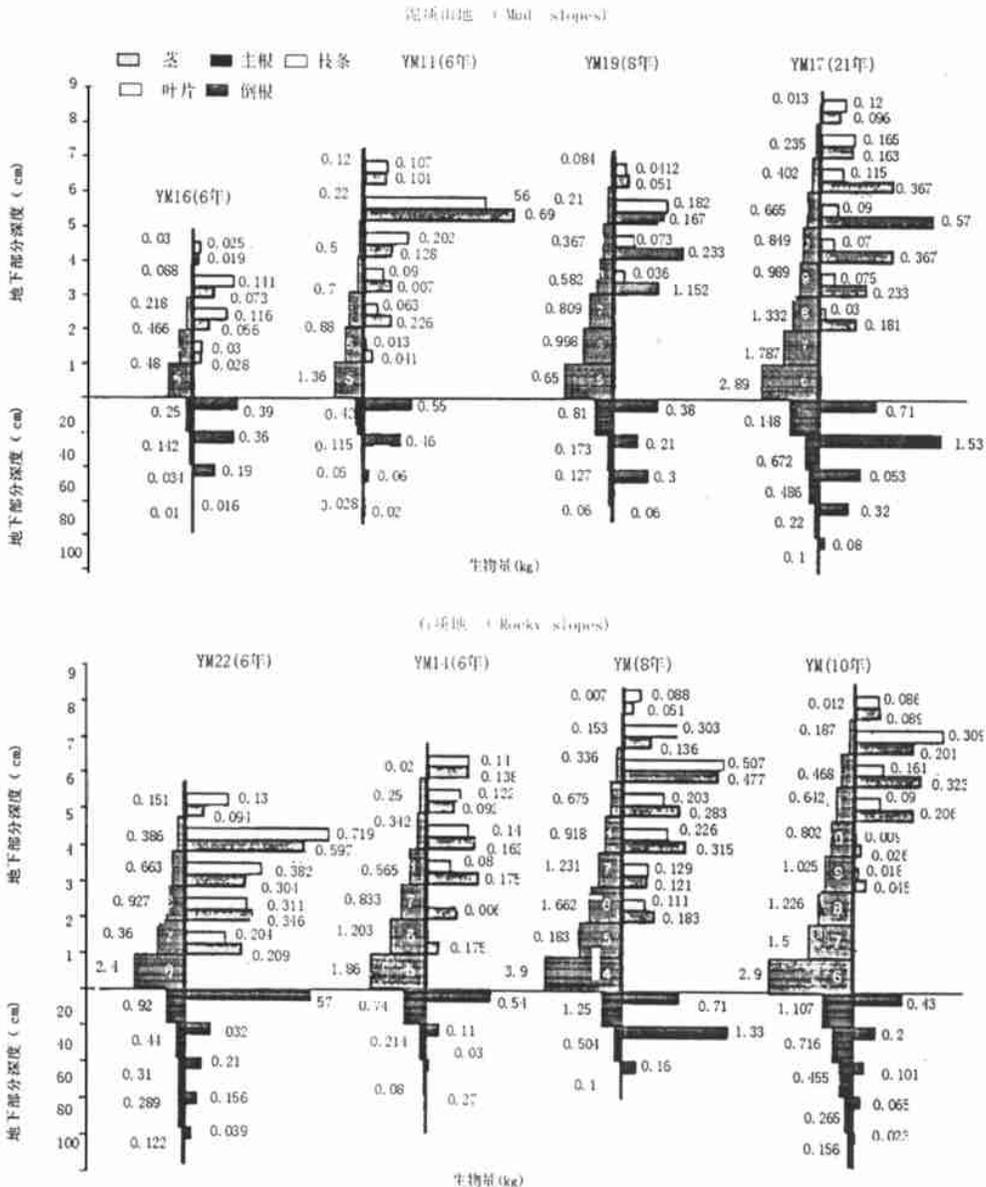


图1 元谋干热河谷桉树单株生物量(kg)垂直分布

Fig.1 Biomass(kg) vertical distribution of Longbeak Eucalyptus

2.3.2 生物量的垂直分配特征

图 1 为泥质山地和石质山地上不同林龄桉树树干、枝、叶、主根、侧根的垂直分布特征。从图 1 可以看出,干热河谷区桉树在 5 a 以前开始自然整枝,5 a ~ 10 a 随着树龄的增加,枝叶的分布重心逐渐上升,在侵蚀严重的泥质山地上,8 a ~ 10 a 树木生长缓慢,自然整枝基本停止,树冠占树高的 60 % 左右,枝叶主要分布在树体的中上部。主根和侧根均以分布

在表层土壤(0 cm ~ 60 cm)为主。

2.4 干热河谷桉树生物量异速生长的相关关系

与其它树种相似,元谋干热河谷桉树树高、胸径、树干重、枝条重、叶重、主根重、侧根重、叶面积等器官之间存在异速生长相关性,表 6 所示各变量之间的相关性,可见,除个别变量(叶面积与主根重、叶面积与树高、叶重与树高、叶重与主根重)之外,大部分变量之间相关性极显著。

表 6 元谋干热河谷桉树各器官生物量的相关矩阵

Table 6 Correlation matrix between growth status and biomass of Longbeak Eucalyptus

因素 Factors	树高 Height	胸径 DBH	叶面积 Leaf area	茎重 Stem weight	枝重 Branch weight	叶重 Leaf weight	主根 Taproot weight	侧根 Lateral root weight
树高 Height	1							
胸径 DBH	0.85 **	1						
叶面积 Leaf area	0.48	0.75 *	1					
茎重 Stem weight	0.84 **	0.85 **	0.62 *	1				
枝重 Branch weight	0.68 *	0.80 **	0.80 **	0.89 **	1			
叶重 Leaf weight	0.53	0.80 **	0.95 **	0.74 *	0.88 **	1		
主根 Taproot weight	0.80 **	0.77 *	0.44	0.93 **	0.80 **	0.54	1	
侧根 Lateral root weight	0.60 *	0.67 *	0.67 *	0.87 **	0.87 **	0.80 **	0.70 *	1

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$

幂函数 $W = a(D^2 H)^b$ 可较真实地反映出乔木植物生物量随胸径(D)及树高(H)的变化趋势而普遍应用于乔木植物生物量研究^[15, 17, 18]。元谋干热河谷桉树生物量与胸径及树高相关生长模型见表 7,可见,干热河谷桉树总生物量与胸径及树高的相关生长模型极为显著,相关系数达 0.9831 ($P < 0.001$)。各器官生物量中,茎生物量较为稳定,与胸径及树高的相关生长模型极为显著,相关系数达 0.9864 ($P < 0.001$),而枝叶生物量则可能受人类活动和干热气

候的影响较大,与胸径及树高相关生长模型的显著性最差,相关系数仅为 0.7964 和 0.8047 ($P < 0.05$),调查表明,干热河谷在干旱季节桉树的枯梢现象较严重,最严重者枯梢率达 90% 以上。根系生物量特别是侧根生物量可能受到未完全挖出的影响,与胸径及树高相关生长模型的显著性一般。由此可见,乔木植物各器官生物量与胸径及树高的异速生长相关关系可反映其在生长过程中受环境条件影响的情况。

表 7 元谋干热河谷桉树生物量异速生长关系优化回归模型

Table 7 Relative growth equation of L. Eucalyptus biomass

器官 Organs	回归方程 Equation	相关系数 R
茎 Stem	$\lg W_s = 0.8397 \lg(D^2 H) - 1.1759$	0.9864 ***
枝 Branch	$\lg W_b = 0.62081 \lg(D^2 H) - 1.3824$	0.7964 *
叶 Leaf	$\lg W_L = 0.6491 \lg(D^2 H) - 1.5753$	0.8047 *
地上部 Above ground	$\lg W_{Ag} = 0.814 \lg(D^2 H) - 0.9816$	0.9849 *
主根 Taproot	$\lg W_T = 0.6614 \lg(D^2 H) - 1.445$	0.9022 **
侧根 Lateral root	$\lg W_{Lr} = 1.0951 \lg(D^2 H) - 2.58$	0.8033 *
总根系 Total root	$\lg W_{Tr} = 0.580 \lg(D^2 H) - 0.9716$	0.8998 **
总生物量 Tree biomass	$\lg W_{Tb} = 0.6735 \lg(D^2 H) - 0.5775$	0.9831 ***

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$; $n = 18$ 。

3 小结

1. 元谋干热河谷的植被恢复在近几年取得了较大的成效,但由于桉树人工林种植模式较单一,林分结构简单,林下灌草层植物种类和数量较少,很难完全起到水土保持的预期效果。

2. 由于气候干旱的影响,干热河谷区桉树人工林生长缓慢,群落生物量较低。在相似林龄的群落中,地面物质组成和地表侵蚀状况是影响群落生物量的主要立地因素之一,土壤入渗能力强的石质山地有利于高大乔木的生长,桉树人工林生物量高,而侵蚀严重的泥质山地则相反,不利于高大乔木的生长,桉树人工林生物量低。在侵蚀严重的泥质山地上,干旱瘦瘠的土壤条件主要是通过降低枝叶的生长积累和叶面积指数而影响林木的生长。

3. 干热河谷桉树树高、胸径、树干重、枝条重、叶重、主根重、侧根重、叶面积等器官之间同样存在着异速生长的相关性,幂函数 $W = a(D^2H)^b$ 可较真实地反映出桉树生物量随胸径(D)及树高(H)的变化趋势而可应用于其生物量研究,总生物量与树高和胸径的关系式为 $\lg W_{\text{总}} = 0.6735 \lg(D^2H) - 0.5775 (R = 0.983)$ 。各器官生物量与胸径及树高的异速生长相关关系可反映乔木植物在生长过程中受环境条件影响的情况。

4. 干热河谷的植被恢复应针对不同坡地类型生境的土壤水分条件,主要依靠优势生活型植物种类,进行乔灌草不同生活型植物类型的合理配置,建立起植被与生境土壤水分条件的群落生态关系,方能达到完全成功的目的。在侵蚀严重的泥质山地上,植被恢复应以草灌为主,并结合严格的封禁管理方能起得较好的效果。

参考文献:

- [1] 张荣祖. 横断山区干旱河谷[M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- [2] 杜天理. 西南地区干热河谷开发利用方向[J]. 自然资源, 1994, (1): 41-45.
- [3] Yang Zhong, Zhang Xinbao., in: Peishengji(ed.), Rehabilitation of Degraded Lands in Mountain Ecosystems of the Hindu Kush Himalayan Region. Proceeds of an International workshop hold in Baoshan, China. ICIMOD, Kathmandu, Nepal, 1995.
- [4] 张信宝, 陈玉德, 云南元谋干热河谷区不同岩土类型荒山植被恢复研究[J]. 应用与环境生物学报, 1997, 3(1): 13-18.
- [5] 杨忠, 张信宝, 等. 金沙江干热河谷植被恢复技术[J]. 山地学报(原《山地研究》), 1999, 17(2): 152-156.
- [6] 杨忠, 庄泽, 等. 元谋干热河谷水保林营造技术研究.[J] 水土保持通报 1999, 19(1): 38-42.
- [7] 金振洲, 等. 云南元谋干热河谷植被概括.[J] 植物生态学与地植物学报, 1987, 11(4): 308-317.
- [8] 吴征镒, 等. 云南植被[J]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [9] 刘学愚, 等. 云南经济、社会、生态综合发展战略规划系统工程研究文集[C]. 云南昆明: 云南大学出版社, 1980.
- [10] 马钦彦. 中国油松生物量的研究. 北京林业大学学报, 1989, 11(4): 1-10.
- [11] 黄全, 等. 黎母山热带山地雨林生物量研究[J]. 植物生态与地植物学报, 1991, 15(3): 197-206.
- [12] 方精云. 分布区西缘油松种群的生长特征[J]. 植物生态与地植物学报 1993, 17(4): 305-316.
- [13] 肖瑜. 山西省不同气候区域油松燃烧了生物量和生产力的比较研究[J]. 植物生态与地植物学报, 1990, 14(3): 237-245.
- [14] 陈章和. 广东黑石顶长绿阔叶林生物量及其分配的研究[J]. 植物生态与地植物学报, 1993, 17(4): 289-298.
- [15] Water Vegetation of the Earth (Second Edition). Springer-Verlag New York Inc., New York, 1979.
- [16] 汪企明, 石有光. 江苏省湿地松人工林生物量的初步研究[J]. 植物生态与地植物学报, 14(1): 1-12.
- [17] 冯志立等. 西双版纳热带季节性雨林生物量及其分配规律研究[J]. 植物生态学报, 22(6): 481-488.
- [18] 唐建维, 等. 西双版纳热带次生林生物量的初步研究[J]. 植物生态学报, 22(6): 489-498.

Preliminary Study on the Biomass of Artificial *Eucalyptus camaldulensis* Dehnl Forests in Arid-Hot Valleys, Yuanmou

YANG Zhong, ZHANG Jianping, Wang Daojie and Zhang Xinbao
(*Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences*
& *Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China*)

Abstract: In the arid-hot valleys of Jingshajiang River, biomass of 6 ~ 8 year-old artificial *Eucalyptus camaldulensis* Dehnl forests were studied. The results showed that, in arid-hot valleys of the Jingshajiang River, the artificial *Eucalyptus camaldulensis* Dehnl population, with less vegetation under the forests, grows slowly and has a lower biomass. Rock and soil components and soil erosion in this area may be the main factors affected growth and biomass of the forests. The population biomass of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnl artificial forests were counted as 88.321t/ha in moist valley; 42.189t/ha on slopes underlain by schist; 40.656 ~ 47.510t/ha on hilly slopes with terrace gravel deposits; 54.597t/ha on slopes underlain by semiconsolidated sand and gravel; 23.505 ~ 25.287t/ha on slopes underlain by light eroded mudstone and 10.895 ~ 14.517t/ha on slopes underlain by seriously eroded mudstone. The data suggested that in arid-hot valleys of the Jingshajiang River, the rock slopes with a higher soil percolation are suitable for artificial vegetation of trees and may have a higher biomass, while the seriously eroded earth slopes with a lower soil percolation are unsuitable for artificial vegetation of trees and may have a lower biomass.

Key words: the arid-hot valleys of Jingshajiang river; *Eucalyptus camaldulensis* Dehnl; biomass; slop type