

# 岷江上游大沟流域油松人工幼林生物量组成及其影响因素

李武斌<sup>1, 2</sup>, 包维楷<sup>2</sup>, 何丙辉<sup>\*</sup>, 吴文妍<sup>1, 2</sup>, 李芳兰<sup>2</sup>

(1. 西南大学, 重庆 北碚 400716 2. 中国科学院成都生物研究所, 四川 成都 610041)

**摘 要:** 为了揭示人工林不同层次的生物量组成关系及其影响因素, 选择岷江上游大沟流域的油松人工林, 调查分析了林分不同层次生物量组成及其关系, 探讨了乔木密度、坡向、海拔对生物量的影响。发现: 1) 两种林龄油松人工林生物量分配基本一致, 即, 乔木层 > 灌木层 > 草本层; 乔木各构件生物量大小顺序为: 枝 > 干 > 叶 > 根 > 果 / 皮。同时指出, 枝叶对下木层生物量的影响显著。2) 乔木密度显著控制了林分生物量及其组成, 在本调查范围内坡向的影响似乎不明显; 海拔对 22 a 油松影响显著, 而 24 a 的不显著; 综合分析表明, 本区域内, 22 a 油松保持在 3 800 株 / hm<sup>2</sup> 左右和 24 a 在 3 500 株 / hm<sup>2</sup> 左右时, 有助于林分生物量的稳定与提高, 促进生态系统功能的恢复。

**关键词:** 岷江上游; 油松; 生物量; 密度; 海拔; 坡向

**中图分类号:** Q 948 S791. 254

**文献标识码:** A

林分生物量不仅可初步分析森林的生产能力, 也可作为评价森林能量利用率和养分循环以及多途径利用提供基础数据, 一直是生态学研究中的一个重要内容, 近年来生物量研究已经与全球变化、碳储量、碳循环以及 CO<sub>2</sub> 减排效应紧密联系<sup>[1, 2]</sup>。生物量也已作为评估植被恢复效果的可靠指标而得以应用<sup>[3]</sup>。林分生物量研究已经成为评估林分生态功能、认识林分价值的一个突破口。

油松 (Chinese pine/*Pinus tabulaeformis* Carri.) 是我国暖温带森林的主要建群种, 天然分布很广, 地理分布主要在 31°00' ~ 44°00' N, 101°30' ~ 124°25' E<sup>[4]</sup>, 该树种具有耐干旱、生长较快、枝叶发达、灌幅大且容易郁闭等优点, 因此, 也是北方干旱半干旱地区最重要的乡土树种之一<sup>[5-7]</sup>, 其往西分布到川西大渡河流域、岷江上游和白龙江中上游等河谷和中山地段<sup>[8-10]</sup>。目前我国有关对华北地区的油松人

工林已有很多研究。其中包括群落特征<sup>[4, 11]</sup>、生物量与生产力<sup>[4]</sup>、养分循环<sup>[7]</sup>、林冠层对降雨的分配与节流效应<sup>[5, 12-15]</sup>、油松林凋落物的水土保持功能<sup>[12, 15]</sup>、水热效应与小气候效应<sup>[12, 14, 16]</sup>等方面的研究, 这些研究揭示了我国北方油松林生态系统结构和功能, 为油松林管理提供了重要的依据。有关我国西缘四川部分的油松研究报道多见于早期 (1870 年代研究数据) 对天然林分结构和生产力的描述<sup>[9, 10]</sup>, 近年来对油松密度及干扰对油松生长的影响有少量研究<sup>[8, 17]</sup>, 对油松人工林生物量关系及其影响因素研究较少<sup>[18]</sup>。

本文通过对大沟流域油松人工林生物量及其与密度、坡向、海拔的关系研究, 阐明油松林生物量组成及其相互关系, 探讨海拔、坡向等环境因子及密度对生物量的影响, 为正确评价油松人工林生态恢复效益提供理论和实践依据。

收稿日期 (Received date): 2006- 02- 28; 改回日期 (Accepted): 2006- 12- 15.

基金项目 (Foundation item): 国家重点基础研究 (2005CB422000)、中国科学院知识创新工程项目 (KZCX3 - SW - 339 KSCX1- 07- 02) 和中国科学院台站网络基金与“西部之光”人才计划项目共同资助 [Supported by National Foundation Research, the Predominant Project of the CAS, the Foundation of Field Station Network of the CAS and the Talent Plant of the CAS.]

作者简介 (Biography): 李武斌 (1973 - ), 男, 重庆开县人, 硕士, 主要从事恢复生态和农业生态研究。 [Master Li Wubin, was born in Kaixian of Chongqing city in 1973, Major in Restoration ecology and agroecology.]

\* 通讯作者 (Corresponding author) E-mail: hebinghu@sohu.com

## 1 研究区概况

实验地位于岷江上游大沟流域,属于典型的高山峡谷区。据中国科学院成都生物所茂县生态站 ( $103^{\circ}51'E$ ,  $31^{\circ}37'N$ ) 气象观测资料,该区域年均温  $8.9^{\circ}C$ ,  $\geq 10^{\circ}C$  积温为  $2\ 690.8^{\circ}C$ , 年降雨量  $945.3\ mm$ , 年蒸发量  $842.6\ mm$ , 属暖温带气候。

该区域在 1950~1960 年代尚存有辽东栎萌生林,经近 30 a 的砍伐,森林覆盖率由 60% 下降到 1985 年的 14.4%。区域植被退化为辽东栎 (*Quercus liaotungensis*) 萌蘖、榛 (*Corylus chinensis* C. heterophylla var. sichuanensis) 及蔷薇科植物 (绢毛蔷薇、线杆蔷薇、黄蔷薇等) 为主的落叶阔叶灌丛<sup>[8 19 20]</sup>; 主要灌木种类有辽东栎、毛榛 (*Corylus mandshurica* Maxim.)、川榛 (*C. heterophylla* var. sichuanensis Franch.)、喜阴悬钩子 (*Rubus mesogaeus* Focke)、绢毛蔷薇 (*Rosa sericea* Lindl.)、匍匐栒子 (*Cotoneaster adpressus* Bios.)、箭竹 (*Sinarundinaria nitida* (Miford) Nakai) 等,与其他灌木种类形成不同群落,高度 1.5~2.5 m。草丛只在局部存在,主要种类以香青 (*Anaphatis sinica* Hance)、酸模 (*Rumex acetosa* L.)、水杨梅 (*Geum aloppecium* Jacq.)、鬼灯檠 (*Rodgersia aesculifolia*)、天名精 (*Capsicum abrotanoides* L.) 等<sup>[18]</sup> 为主,与其他草本种类形成群落,群落高度一般 0.2~0.5 m,草本多为一年生。

油松人工林是茂县大沟流域最主要的人工林之一,种植面积最大,分布于 1 750~2 100 m 的海拔范围内的山坡上,坡度较陡 ( $25^{\circ}\sim 35^{\circ}$ )。据初步调查,该区域内油松主要是 1981 年、1983 年育苗,分别于 1983 年和 1985 年人工栽培而成,只有极少部分是 1986 年育苗后陆续补栽,1981 年苗油松主要分布阳面山坡,1983 年苗主要分布在阴面山坡,目前均已郁闭成林。栽培方式均采用清带造林方法,裸根苗直接栽培,栽培密度一般在 3 600~4 350 株/ $hm^2$ ; 油松林植株之间分布比较均匀,其密度变化主要是人为干扰以及自然稀疏造成,林下灌木、草本均受到不同程度的干扰,公路附近和农地附近的油松林,其干扰较为严重,主要干扰类型是:农业积肥 (主要收集林下凋落物及腐殖质土)、挖药材、薪材砍伐和放牧干扰<sup>[20]</sup>。近年来由于畜牧和果树跌价,薪材砍伐和放牧干扰有所减小。油松林下土壤类型为千枚岩发育的淋溶褐土或棕壤,土体较湿润,结构

性较好,呈微酸性反应,有机质和全氮在根系活动范围内 ( $0\sim 60\ cm$ ) 分别为 4.5% 和 0.25%,土壤潜在肥力较高<sup>[8]</sup>。地表凋落物盖度主要在 30%~90% 之间,厚度主要集中于 2~10 cm,阴坡较阳坡厚。

## 2 研究方法

### 2.1 野外调查及取样

本研究主要选择立地坡度相近的 1981 年和 1983 年苗造林形成的油松人工林进行调查。调查于 2005-08~09 进行。按海拔每隔 100 m 左右的等高线,对  $> 400\ m^2$  油松纯林采用对角线法。按比例共选取了 60 个 (由于人工油松幼林种植均匀密集,为照顾小面积油松斑块取样及边缘效应,样方大小采用  $10\ m\times 10\ m$ ), 共计 1 768 棵油松。对样地内油松每木检尺,测量胸径、株高、株数,计算平均值; 根据径级选取标准木 7~9 株伐倒,地上部分分层取样采用“分层切割法”,地下部分使用“全挖法”,用于建立生物量模型,推算每个样方中每株油松及各构件的生物量<sup>[4 21-25]</sup>; 使用生长锥法测量油松年龄。使用坡向表和 GPS 测量样方坡向、坡度、海拔等环境指标,并记录干扰状况、干扰类型以及样方乔灌木的盖度及计算其平均值和变异系数,样地基本情况见表 1。

在每个乔木样方中采用对角线法选取 3 个  $2\ m\times 2\ m$  小样方采用收获法、全挖法分别测定灌木地上、地下生物量<sup>[4 21 23 26 27]</sup> 以及 3 个  $1\ m\times 1\ m$  的样方,用收获法测定草本地上、地下生物量和凋落物量<sup>[4 21 26]</sup>; 样品按比例混合取样在  $80^{\circ}C$  下恒温烘干至恒重。

### 2.2 数据整理与分析

1 根据前人研究,我们选取了生物量与材积相关的经验模型  $W = a(D^2H)^b$  以及生物量与胸径相关的经验模型  $W = aD^b$  (其中  $D$  表示胸径,  $H$  表示植株高,  $a$ 、 $b$  均为常数)<sup>[18 21 27]</sup>。比较分析两种经验模型与油松生物量的相关性,发现两种模型均达到极显著水平,由测树学<sup>[25]</sup> 可知使用  $W = a(D^2H)^b$  计算出乔木主干的生物量精度很高; 过去的研究<sup>[21 24 28]</sup> 及本文研究结果表明用此模型模拟其精度也较前者高。因此,分析过程中采用  $W = a(D^2H)^b$  来估计油松各构件及单株生物量。

2 根据选定的模型  $W = a(D^2H)^b$ , 按照茎干、枝、叶、皮、果实及根分别计算出各构件生物量,并对

表 1 大沟流域油松林样地基本情况

Table 1 Fundamental parameters of sampled stands in Dagou valley areas of the upperM injiang River

参    数	22 a ( n = 33)			24 a ( n = 27)		
	平均值	范围	变异系数	平均值	范围	变异系数
Parameters	Average	Range	C. V. ( % )	Average	Range	C. V. ( % )
密度 Density( /hm <sup>2</sup> )	3 045	1 300~ 5 700	38. 82	2 751	1 700~ 5 600	36. 81
胸径 Breast diam eter ( cm)	7. 59	4. 91~ 11. 82	38. 22	11. 10	8. 28~ 15. 06	35. 74
株高 Height ( m)	5. 39	3. 50~ 9. 90	15. 77	7. 32	5. 50~ 9. 10	12. 20
乔木盖度 Arbor cover ( % )	86. 5	63. 0~ 95. 0	14. 37	91. 5	75. 0~ 95. 0	14. 10
灌木盖度 Shrub cover ( % )	11. 2	0. 0~ 35. 0	27. 30	9. 7	0. 0~ 30. 0	36. 23
草本盖度 Herb cover( % )	12. 7	0. 0~ 35. 0	19. 30	13. 5	0. 0~ 45. 0	21. 37
凋落物盖度 Litter cover( % )	83. 3	55. 0~ 100. 0	32. 75	78. 5	20. 0~ 100. 0	45. 44
海拔 Elevation range(m)	1 760~ 2 090			1 830~ 2 150		
坡向 Slope aspects range	W, NW, N, NE			E, S, SW		
坡度 Gradient range	25°~ 34°			23°~ 36°		
地理位置 GPS range	31°41'21. 6″~ 31°41'45. 5″N, 103°53'12. 1″~ 103°54'29. 1″E					

注: W—西方 ( West), NW—西北方 ( Northwest), N—北方 ( North), NE—东北方 ( Northeast), E—东方 ( East), S—南方 ( South), SW—西南方 ( Southwest)

两种林龄油松各构件生物量进行比较, 确定其组成关系; 确定样地乔、灌、草、凋落物生物量分配比例, 比较两种林龄油松生物量组成及分配 (表 2)。

3 选择其他因子基本一致的样方比较分析密度、海拔、坡向等因素分别对油松生物量的影响; 采

用逐步回归法分析海拔、坡向、密度对生物量的综合影响, 找出影响油松生物量的主要因子。

以上数据处理在 spss11. 5, Sigmaplot2001和 excel软件上完成。

表 2 油松单株生物量分配数学模型

Table 2 The model of biomass of Chinese Pines components

经验式 Empirical equation	构件名称 Component	回归方程 Regression equation	相关系数 ( R )
$W = aD^b$	树干 ( Stem )	$W_{Stem} = 0. 0192D^{2. 5914}$	0. 948 <sup>*</sup>
	树枝 ( Branch )	$W_{Branch} = 0. 003D^{3. 3507}$	0. 941 <sup>**</sup>
	树叶 ( Leaf )	$W_{Leaf} = 0. 1486D^{1. 6701}$	0. 779 <sup>**</sup>
	树皮 ( Bark )	$W_{Bark} = 0. 0293D^{1. 8589}$	0. 964 <sup>**</sup>
	果实 ( Fruit )	$W_{Fruit} = 0. 0043D^{2. 5844}$	0. 723 <sup>**</sup>
	地上 ( Aboveground )	$W_{Above} = 0. 0716D^{2. 5533}$	0. 942 <sup>**</sup>
	树根 ( Root )	$W_{Root} = 0. 0649D^{1. 9243}$	0. 859 <sup>**</sup>
	全株 ( All )	$W_{All} = 0. 1208D^{2. 4166}$	0. 944 <sup>**</sup>
$W = a(D^2H)^b$	树干 ( Stem )	$W_{Stem} = 0. 0188(D^2H)^{0. 9567}$	0. 955 <sup>**</sup>
	树枝 ( Branch )	$W_{Branch} = 0. 0031(D^2H)^{1. 251}$	0. 943 <sup>*</sup>
	树叶 ( Leaf )	$W_{Leaf} = 0. 1304(D^2H)^{0. 6344}$	0. 808 <sup>*</sup>
	树皮 ( Bark )	$W_{Bark} = 0. 0301(D^2H)^{0. 6804}$	0. 963 <sup>**</sup>
	果实 ( Fruit )	$W_{Fruit} = 0. 0028(D^2H)^{1. 0158}$	0. 776 <sup>**</sup>
	地上 ( Aboveground )	$W_{Above} = 0. 0675(D^2H)^{0. 9488}$	0. 956 <sup>**</sup>
	树根 ( Root )	$W_{Root} = 0. 0788(D^2H)^{0. 6796}$	0. 828 <sup>**</sup>
	全株 ( All )	$W_{All} = 0. 119(D^2H)^{0. 8918}$	0. 951 <sup>**</sup>

注: \* \* 表示极显著相关; W—生物量 ( kg); D—胸径 ( cm); H—株高 ( m); a, b—常数。

Memorandum: Correlation is significant at the 0. 01 level; W—Weight ( kg); D—Diameter at breast ( cm); H—Height ( m);

a, b—Constant

3 结果与分析

3.1 两种林龄油松人工林分生物量组成及分配

3.1.1 生物量组成

表 3显示, 各层生物量大小关系均是: 乔木层 >

灌木层 > 凋落物层 > 草本层; 乔木层生物量所占比例均超过 88%, 灌草生物量都较小, 调查中近 1/3 的样方灌草生物量接近为零。

两种林龄的灌草地上生物量均小于其地下生物量(图 1), 22 a油松林灌木地上、地下生物量均大于 24 a油松林灌木生物量。

表 3 两种林龄人工油松林分生物量组成  
Table 3 Biomass distributions of Chinese Pine plantations

林龄 Age	参数 Parameter	乔木层 Arbor	灌木层 Shrub	草本层 Herbage	凋落层 Litter fall	合计 Aggregate
22 a	生物量 Biomass ( t/hm <sup>2</sup> )	97. 96	7. 03	0. 31	4. 88	110. 18
	占总量百分比 Percentage ( % )	88. 9	6. 4	0. 3	4. 4	100
24 a	生物量 Biomass ( t/hm <sup>2</sup> )	177. 46	6. 50	0. 50	4. 48	188. 94
	占总量百分比 Percentage ( % )	93. 9	3. 4	0. 3	2. 4	100

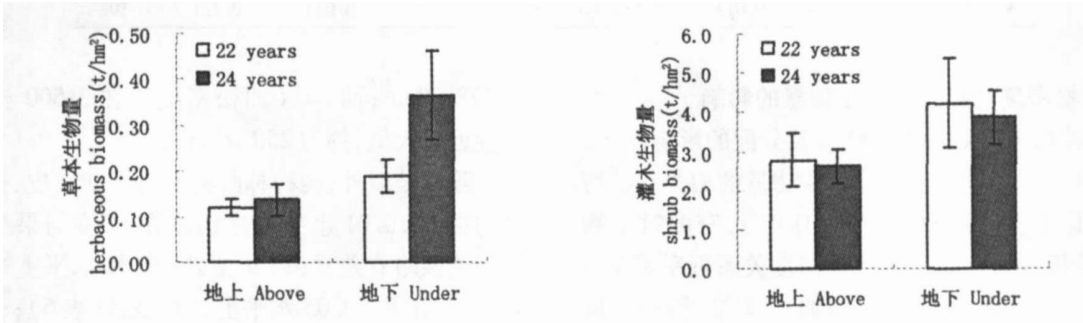


图 1 两种林龄灌草地上、地下生物量

Fig. 1 Aboveground and underground Biomass of shrub/herbage in two ages Chinese Pine forest

3.1.2 乔木层生物量分配

表 4显示, 两种林龄油松乔木层生物量主要集中在枝干部分, 均在 58% 以上; 枝生物量所占比例为最大、其次为干和叶。

22 a油松乔木层平均生物量为 97. 96 t /hm<sup>2</sup>, 各构件生物量见表 4 其大小关系为: 枝 > 干 > 叶 > 根 > 皮 > 果; 明显可以看出地上部分占了整个乔木

层生物量的绝大部分, 约为 83. 3%, 为地下部分的 5 倍。24 a油松乔木层平均生物量为 177. 46 t/hm<sup>2</sup>, 各构件生物量大小关系为: 枝 > 干 > 叶 > 根 > 果 > 皮。

24 a油松与 22 a油松乔木层生物量大小顺序基本一致, 只有果和皮略有差异; 24 a各构件生物量明显比 22 a的大, 其地上部分比例比 22 a的增加了 2. 8%。

表 4 油松乔木层各构件生物量平均分配  
Table 4 Biomass contribution of Chinese Pine's components

林龄 Ages	参数 Parameters	树干 Trunk	树枝 Branch	树叶 Leaf	树皮 Bark	果实 Fruit	树根 Root	合计 Aggregate
22 a	生物量 Biomass ( t/hm <sup>2</sup> )	23. 01	26. 90	20. 39	6. 27	5. 05	16. 34	97. 96
	占总量百分比 Percentage ( % )	23. 5	27. 5	20. 8	6. 4	5. 2	16. 7	100
24 a	生物量 Biomass ( t/hm <sup>2</sup> )	41. 84	59. 36	28. 97	9. 26	9. 52	24. 10	177. 46
	占总量百分比 Percentage ( % )	24. 1	34. 3	16. 7	5. 3	5. 5	13. 9	100

3. 1. 3 油松各组成部分与灌草生物量关系

表 5 显示, 22 a 油松各构件生物量与林下灌木均呈显著负相关, 即随乔木林分生物量的增加林下灌木有减少的趋势, 而与林下草本生物量相关性不

明显。对于 24 a 油松林, 除油松干、枝、叶与草本显著相关外, 油松各构件生物量与灌草生物量均无明显相关性, 但整体上是随着乔木林分生物量的增加草本生物量也呈减少的趋势。

表 5 乔木构建生物量与灌草生物量的相关性

Table 5 Correlation of arbor components biomass and shrub/herb biomass

参 数 Parameters	灌木 Shrub				草本 Herb			
	22 a (n = 33)		24 a (n = 27)		22 a (n = 33)		24 a (n = 27)	
	$R^2$	P	$R^2$	P	$R^2$	P	$R^2$	P
树干 Trunk	- 0. 421	0. 015	0. 190	0. 343	0. 379	0. 030	- 0. 381	0. 049
树枝 Branch	- 0. 470	0. 004	0. 049	0. 696	0. 446	0. 009	- 0. 386	0. 047
树叶 Leaf	- 0. 471	0. 006	0. 291	0. 141	0. 381	0. 027	- 0. 386	0. 047
树皮 Bark	- 0. 465	0. 006	0. 281	0. 156	0. 288	0. 104	- 0. 320	0. 103
果实 Fruit	- 0. 411	0. 018	0. 167	0. 405	0. 394	0. 023	- 0. 303	0. 124
树根 Root	- 0. 465	0. 006	0. 281	0. 156	0. 278	0. 105	- 0. 380	0. 050
地上 Above	- 0. 421	0. 015	0. 169	0. 398	0. 383	0. 028	- 0. 309	0. 117
乔木层 Arbor	- 0. 429	0. 013	0. 186	0. 353	0. 370	0. 034	- 0. 321	0. 102

3. 2 油松密度对林分乔木生物量的影响

3. 2. 1 油松密度对乔木生物量及分配的影响

两种林龄油松密度与乔木生物量的相关系数均在 0. 83 以上, 极显著相关 ( $P < 0. 01$ ), 密度对生物量的影响极为显著。生物量与密度关系近乎都呈 S 形 (图 2), 生物量随密度的增加先增加, 到一定量时, 密度增加生物量几乎无变化。22 a 油松密度约在 3 800 株 /hm<sup>2</sup> 左右时乔木生物量达到最大值, 约

为 178 t/hm<sup>2</sup>; 而 24 a 油松密度约在 3 500 株 /hm<sup>2</sup> 时接近最大值, 约为 250 t/hm<sup>2</sup>。

除树枝以外, 两种林龄密度与干、叶、皮、根生物量均在  $P < 0. 01$  水平上达到显著, 密度与果生物量的相关性略有差异, 24 a 在  $P < 0. 01$  水平上达到显著, 22 a 在  $P < 0. 05$  水平上达到显著 (表 6); 通过对比可知, 两种林龄油松密度对油松叶和根生物量影响是最显著的。

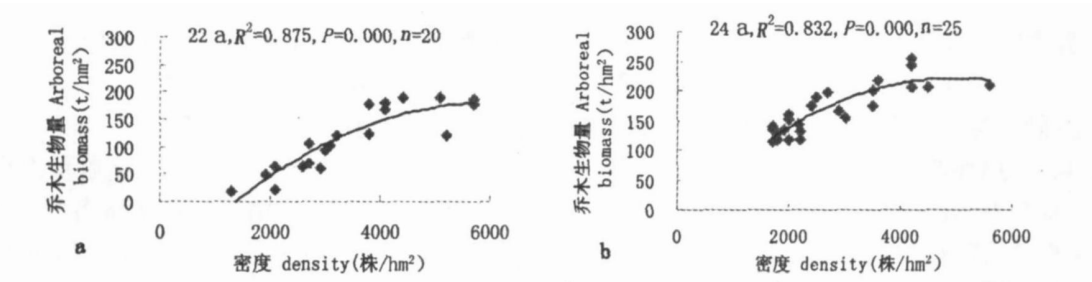


图 2 乔木生物量与油松密度的关系

Fig 2 Relationship of arboreal biomass and Chinese pine density

表 6 油松密度与油松各构件生物量之间的关系

Table 6 Relationship of density and components in Chinese Pine forest

林龄 Ages	影响因子 Influence	相关系数 ( $R^2$ )					
		干 Trunk	枝 Branch	叶 Leaf	皮 Bark	果 Fruit	根 Root
22 a	密度 Density	0. 473* *	0. 323	0. 672* *	0. 642* *	0. 440	0. 642* *
24 a	密度 Density	0. 615* *	0. 362	0. 858* *	0. 831* *	0. 562* *	0. 832* *

注: \* \* 表示在  $P < 0. 01$  水平上显著; \* 表示在  $P < 0. 05$  水平上显著

Note \* \* Correlation is significant at the 0. 01 level \* Correlation is significant at the 0. 05 level

3. 2. 2 油松密度对林分下层灌、草生物量的影响

图 3所示, 两种林龄灌、草生物量整体上都有随密度的增加而降低的趋势。两种林龄林下灌木生物

量和油松密度都呈显著负相关 ( $P < 0.01$ ), 22 a草本生物量与油松密度在  $P < 0.05$ 水平上负相关, 而 24 a草本生物量与油松密度在  $P < 0.01$ 水平上显著负相关。

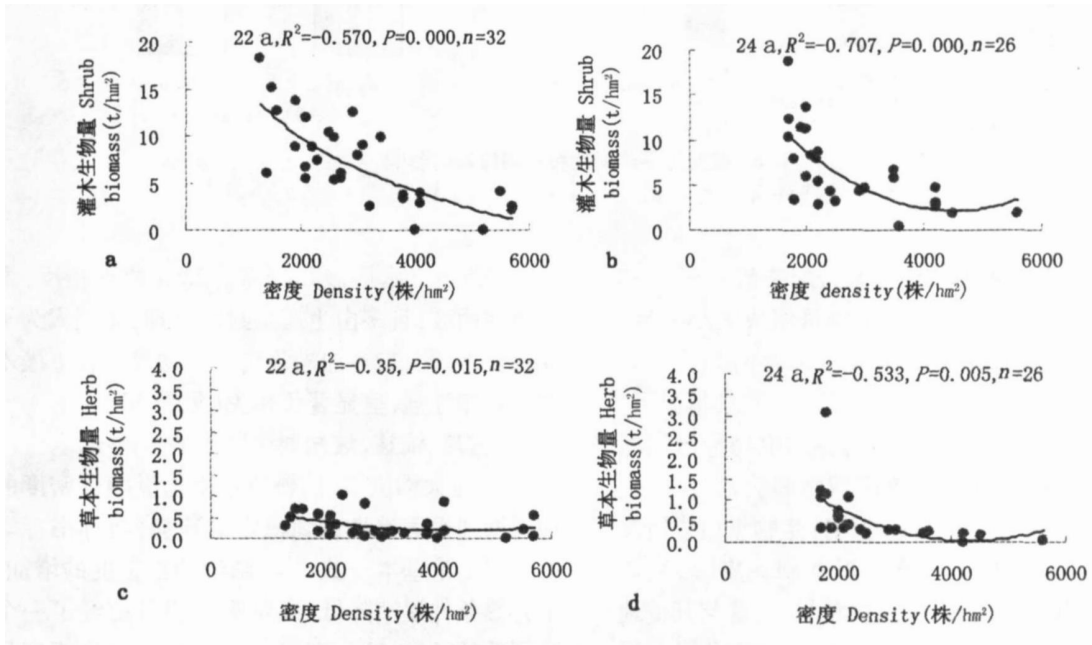


图 3 灌、草生物量与油松密度的关系  
Fig. 3 Relationship of shrub/herb biomass and Chinese Pine's density

3. 3 海拔、坡向对油松人工林生物量的影响

3. 3. 1 海拔的影响

表 7 生物量与海拔的相关关系  
Table 7 Correlation of biomass and elevation

参 数 Parameters	海拔 Elevation			
	22 a (n = 14)		24 a (n = 15)	
	$R^2$	P	$R^2$	P
树干 Trunk	0.785	0.001	-0.186	0.506
树枝 Branch	0.786	0.001	-0.132	0.639
树叶 Leaf	0.773	0.001	-0.313	0.256
树皮 Bark	0.776	0.001	-0.288	0.297
果实 Fruit	0.786	0.001	-0.172	0.539
树根 Root	0.776	0.001	-0.289	0.297
乔木 Arbor	0.787	0.001	-0.200	0.476
灌木 Shrub	-0.106	0.719	0.124	0.660
草本 Herbage	0.028	0.924	0.174	0.543
凋落层 Litter	0.468	0.092	0.572	0.026

表 7是在本调查海拔范围内, 对密度、坡度、坡向等基本一致时, 分析海拔与油松林各组分生物量的关系结果表, 除 24 a油松林凋落物与海拔呈正相关外, 两种林龄灌草生物量以及凋落物量均无显著

相关; 22 a油松林其乔木层及乔木层各构件生物量与海拔呈显著正相关, 即随海拔的升高有增大的趋势; 而 24 a生油松林乔木层及各构件生物量与海拔无显著相关, 整体上看在本调查海拔范围内其生物量随海拔的增加略有减少趋势。

3. 3. 2 坡向的影响

整体上看, 两种林龄油松平均胸径和平均株高都是阴坡大于阳坡, 各构件生物量也是阴坡大于阳坡 (图 4), 相关分析发现, 坡向对两种林龄乔、灌、草以及乔木层各构件生物量的影响似乎都不大。

4 讨论与结论

4. 1 油松生物量模型说明

值得提出的是, 尽管使用  $W = a(D^2H)^b$ 比  $W = aD^b$  计算出来的生物量相关系数高, 但实际很多调查株高是采用的目测, 导致计算生物量误差大<sup>[18]</sup>; 本实验采用了标杆法来减少测量株高误差。另外, 调查发现密度对枝、叶等构件生物量影响显著, 但历年来的乔木生物量模型研究中很少考虑密度对乔木生物量的影响, 有待做进一步研究。

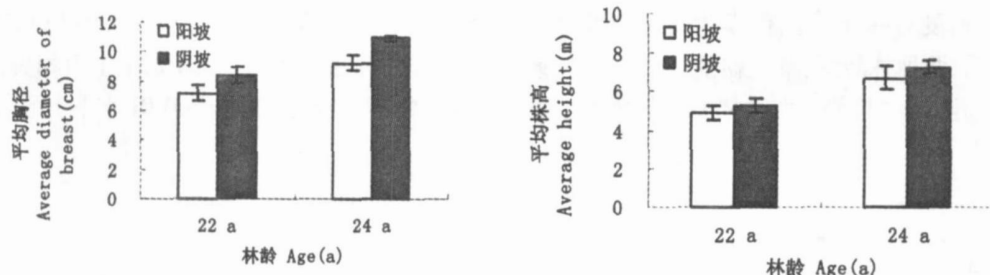


图 4 坡向对平均胸径和平均株高的影响

Fig 4 Effects of slope aspects on DB and Height

## 4.2 油松人工林生物量组成及分配关系

1. 两种林龄油松各层片生物量组成大小一致,依次为: 乔木层 > 灌木层 > 凋落层 > 草本层; 但各层之间的比例不同, 可能原因是在密度一致的情况下, 大龄油松的林下光热条件较差, 乔木生物量增加灌草总量减小。由于受当地农民积肥影响, 凋落物量比实际小。两种林龄乔木层各构件生物量组成情况也基本一致, 表现为: 枝 > 干 > 叶 > 根 > 皮 (果); 该区域油松具有发达的枝, 其生物量最大, 这与其他地方乔木层构件生物量大小关系略有差异<sup>[22, 29]</sup>。果和皮的大小顺序不同, 可能是由于大龄油松较成熟果实较多, 繁殖力增强, 而树皮变化不大。另外, 该研究区 22 a 生油松地上生物量 ( $81.62 \text{ t/hm}^2$ ) 高于晋西等北方地区近林龄 (23 a) 油松生物量 ( $25.5506 \text{ t/hm}^2$ )<sup>[29]</sup>, 主要可能是由该区域水热等气候较北方更适宜油松生长, 符合地带性分布规律<sup>[27, 28, 30]</sup>。

2. 由于两种林龄林下灌木地上部分是人为砍伐后, 最近几年 (5~9 a<sup>[18]</sup>) 生长的萌生株, 地下部分根系年龄 (多为 20 a 以上) 远远超过地上部分的年龄; 因此, 其地上生物量小于地下生物量。24 a 油松由于盖度较 22 a 高, 林下散射光增加, 导致草本盖度增加<sup>[17]</sup>, 其生物量高于 22 a 草本。

3. 尽管受干扰影响, 使乔木各构件生物量及乔木层生物量与林下灌草生物量的关系变得复杂, 但两种林龄乔木层枝叶生物量对灌草生物量的影响仍达到显著水平 ( $P < 0.05$ ); 由于枝叶生物量大小一定程度上反应了样方乔木的郁闭度大小, 进而影响林下光热条件而影响到灌、草生物量。24 a 油松多分布在阳坡, 即生态站所在山面, 由于距离农地近、公路发达、药材 (主要是天麻、崇楼、党参等) 较丰富, 受人为干扰严重, 从表 1 的变异系数和表 3 各层生物量数据也清晰地看出, 24 a 的所受干扰严重, 其主要干扰类型是: 农业积肥、挖药、放牧、薪材砍伐

等<sup>[20]</sup>, 造成下木层破坏严重。22 a 的正相反, 主要分布在阴坡, 且多由生态站封闭管理, 受到人为干扰少得多, 因此, 22 a 油松各构件生物量与林下灌木生物量规律性强, 呈显著负相关 (见表 5)。

## 4.3 密度、海拔、坡向对生物量的影响

1. 在大沟流域, 油松乔木生物量随着密度的增加先增加而后逐步达到稳定的趋势, 与孙书存等人的研究结论基本一致<sup>[17]</sup>。随着油松密度的增加, 林下光热条件逐渐降低, 灌草吸收能量历经了一个从高到低的环境过程, 整体上看其生物量也相应呈现逐渐减小的趋势。从本研究区域来看, 22 a 油松密度在本阶段保持在  $3800 \text{ 株/hm}^2$  左右, 24 a 油松在  $3500 \text{ 株/hm}^2$  左右比较合适; 此密度时油松林总生物量接近最大值, 而林下灌草生物量也处于中等水平。但随着年龄的增加最适密度值有所降低。

2. 由于不同油松样方林下受到农业积肥、放牧、薪材砍伐的影响程度各不相同<sup>[20]</sup>, 因此, 灌、草及凋落物量与海拔和坡向之间无明显的规律, 也无明显相关。

综上所述, 大沟流域油松坡度变化较小, 通过对密度、海拔、坡向三个因素的分析研究表明, 密度、海拔可能是影响油松生物量的主要影响因子。因此, 合理密植, 适当控制农业积肥、砍伐、放牧和采药等干扰的强度, 适当修枝疏林等措施可以改善林下光热条件, 增加林下灌、草覆盖及生物量, 对于提高生物多样性、防止水土流失、养分保持、提高油松生物量和生产力等都有积极意义。

## 参考文献 (References)

- [1] Min Zhao, Guang-Sheng Zhou. Estimation of biomass and net primary productivity of major planted forests in China based on forest inventory data [J]. *Forest Ecology and Management*, 2005, 207: 295~313
- [2] Jacques Roy, Bernard Saugier, Harold A. Mooney. Terrestrial Global Productivity [M]. San Diego, California: Academic Press,

- 2001.
- [3] Yu Zuoyue, Peng Shaolin. Research on Recovery Ecology in Tropical and Subtropical Degraded Ecosystem [M]. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, Guangdong, 1997. [余作岳, 彭少麟. 热带亚热带退化生态系统植被恢复生态学研究 [M]. 广州: 广东科技出版社, 1997.]
- [4] Wu Gang, Feng Zongwei. Study on social characteristics and biomass of the *Pinus tabulaeformis* forest systems in China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1994, 14(4): 415~422 [吴刚, 冯宗炜. 中国油松林的群落特征与生物量研究 [J]. 生态学报, 1994, 14(4): 415~422]
- [5] Zeng Jie, Guo Jingtang. Study on the first distribution of precipitation by *Pinus tabulaeformis* plantation in Taiyue forest region [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 1997, 19(3): 21~27 [曾杰, 郭景唐. 太岳山油松人工林生态系统将有的第一次分配 [J]. 北京林业大学学报, 1997, 19(3): 21~27]
- [6] Wu Zheng-yi. eds. Vegetation in China [M]. Beijing: Science Press, 1980. [吴征镒. 中国植被 [M]. 北京: 科学出版社, 1980.]
- [7] Gao Jia-rong, Zhang Dong-sheng, Xiao Bin, et al. Nutrient distribution and accumulation pattern of Chinese pine plantation ecosystems in the loess region [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2002, 24(1): 26~30 [高甲荣, 张东升, 肖斌, 等. 黄土区油松人工林生态系统营养元素分配格局和积累的研究 [J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(1): 26~30]
- [8] Bao Weikai, Qiao Yongkang, Chen Qingheng. Ecological environment effects of the typical young *pinus tabulaeformis* plantation rehabilitation in the upper reaches of the Minjiang River [J]. *Journal of Mountain Science*, 2003, 12, 21(6): 662~668. [包维楷, 乔永康, 陈庆恒. 岷江上游典型油松人工幼林的生态环境效应 [J]. 山地学报, 2003, 12, 21(6): 662~668]
- [9] Sichuan Collaborative Group on Vegetation. Vegetation in Sichuan [M]. Chengdu: Sichuan People's Publication House, 1980. [四川植被协作组. 四川植被 [M]. 成都: 四川人民出版社, 1980.]
- [10] Sichuan Forest Editorial Committee. Forests in Sichuan [M]. Beijing: Chinese Forestry Publication House, 1992. [四川森林编辑委员会. 四川森林 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1992.]
- [11] Yang Cheng. Structural characteristics of communities of natural *Pinus tabulaeformis* forest in Qiao mountain in north Shanxi [J]. *Journal of North China Forestry College*, 1998, 13(3): 14~17 [杨澄. 桥山天然油松林群落结构特征的研究 [J]. 西北林学院学报, 1998, 13(3): 14~17]
- [12] Chen Yunming, Wu Qinxiao, Liu Xiangdong. A study on redistribution of precipitation by artificial Chinese pine in loess hilly Region [J]. *Journal of North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power*, 1994, 1: 62~68 [陈云明, 吴钦孝, 刘向东. 黄土丘陵区油松人工林对降水再分配的研究 [J]. 华北水利水电学院学报, 1994, 1: 62~68]
- [13] Zhao Hong-yan, Wu Qinxiao, Liu Guobin. Studies on soil and water functions of litter in Chinese pine stand on loess Plateau [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2003, 39(1): 168~172 [赵鸿雁, 吴钦孝, 刘国彬. 黄土高原人共油松林枯枝落叶层的水土保持功能研究 [J]. 林业科学, 2003, 39(1): 168~172]
- [14] Wang S.Q., L.Z.Chen. Characteristics of precipitation and forest stem flow of Dongling Mountainous area [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 20(1): 61~69 [万师强, 陈灵芝. 东灵山地区大气降水特征及森林树干径流 [J]. 生态学报, 2001, 20(1): 61~69]
- [15] Wen Yuan-guang, Liu Shi-rong. Quantitative analysis of the characteristics of rainfall interception of main forest ecosystems in China [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 1995, 31(4): 289~298 [温元光, 刘世荣. 我国主要森林生态系统类型降水截流规律的数量分析 [J]. 林业科学, 1995, 31(4): 289~298]
- [16] Li H.T. & L.Z.Chen. Study on microclimate in the mountain forests in the Warm temperate zone [J]. *Acta Phytocologia Sinica*, 1999, 23(2): 139~147 [李海涛, 陈灵芝. 暖温带山地森林的小气候研究 [J]. 植物生态学报, 1999, 23(2): 139~147]
- [17] Sun Shucun, Gao Xianming, Bao Weikai, et al. Density effects on tree growth and community structure of Chinese pine plantation in the upper reaches of the Min River, China [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2005, 11(1): 8~13 [孙书存, 高贤明, 包维楷, 等. 岷江上游油松造林密度对油松生长和群落结构的影响 [J]. 应用与环境生物学报, 2005, 11(1): 8~13]
- [18] Kong Weijing, Zheng Zheng. The aboveground biomass and net primary productivity of degraded and artificial communities in Maoxian upper reach of the Minjiang River [J]. *Journal of Mountain Science*, 2004, 7, 22(4): 445~450 [孔维静, 郑征. 岷江上游茂县退化生态系统及人工恢复植被地上生物量及净初级生产力 [J]. 山地学报, 2004, 7, 22(4): 445~450]
- [19] Bao Weikai, Chen Qingheng, Liu Zhao-Guang. Changes of structure and species composition of degraded plant community along disturbance of different intensities [J]. *Acta Botanica Yunnanica*, 2000, 22(3): 307~316 [包维楷, 陈庆恒, 刘照光. 退化植物群落结构及其物种组成在干扰梯度上的响应 [J]. 云南植物研究, 2000, 22(3): 307~316]
- [20] Bao Weikai, Liu Zhao-Guang. Human-induced disturbance regime in the Dagou valley in the upper reaches of the Minjiang River [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 1999, 5(3): 233~239 [包维楷, 刘照光. 岷江上游大沟流域驱动植被退化的人为干扰体研究 [J]. 应用与环境生物学报, 1999, 5(3): 233~239]
- [21] Feng Zongwei, Wang Xiaoke, Wu Gang. Biomass and Productivity of Chinese Forest Ecosystems [M]. Beijing: Science Press, 1999. [冯宗炜, 王效科, 吴刚. 中国森林生态系统的生物量生产力 [M]. 北京: 科学出版社, 1999.]
- [22] Xiu Yiming. Study of biomass and productivities on *Larix kaempferi* in China [J]. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology*, 1995, 16(3): 36~42 [宿以明. 日本落叶松人工林生物量和生产力的研究 [J]. 四川林业科技, 1995, 16(3): 36~42]
- [23] Pan Weikou, Tian Dakun. Forest ecosystem first productivity test technology and method [J]. *Journal of Hunan Forestry Science and Technology*, 1981, (2): 1~12 [潘维伟, 田大伦. 森林生态系统第一性生产量的测定技术与方法 [J]. 湖南林业科学, 1981, (2): 1~12]
- [24] Zhou Chunjing, Pu Jun, Xu Wentuo. Study on biomass and productivity of vegetable community in Changbai Mountain [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1995, 6(2): 123~127 [邹春



- 静,卜军,徐文铎. 长白松人工林群落生物量和生产力的研究 [J]. 应用生态学报, 1995 6 (2): 123~127]
- [25] Meng Xianyu. Forest Measurement [M]. Beijing: China Forestry Published Press 1996 [孟宪宇. 测树学[M]. 北京: 中国林业科学出版社, 1996]
- [26] Kong Fanbin. Comparison Study on the biomass of *Pinus taeda* L. of different density and age [J]. *Forestry Science & Technology*, 2003. 5 28(3): 6~9 [孔凡斌, 方华. 不同密度年龄火炬松林生物量对比研究 [J]. 林业科技, 2003. 5 28(3): 6~9]
- [27] Xue Li Yang Peng. Summary of research on forest biomass [J]. *Journal of Fujian College of Forestry*, 2004 24(3): 283~288 [薛立 杨鹏, 森林生物量研究综述 [J]. 福建林学院报, 2004, 24 (3): 283~288]
- [28] Ebermeyer, E. Die gesamte Lehre der Waldkultur mit Rücksicht auf die chemische Statistik des Waldbaues [M]. Berlin: J. Springer 1876. 116
- [29] Qiu Yang Zhang Jintun Chai Baofeng *et al.* Studies on aboveground biomass and productivity of Chinese pine in Western Shanxi Province, in China [J]. *Henan Science and Technology*, 1999 6(17): 72~76 [邱扬, 张今屯, 柴宝峰, 郑凤英. 晋西油松人工林地上部分生物量与生产力研究 [J]. 河南科技, 1999 6(17): 72~76]
- [30] Fang JY, Liu GH, Xu SL. Biomass and net production of forest vegetation in China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1996 16(5): 497~508 [方精云, 刘国华, 徐嵩龄. 我国森林植被的生物量和净生产量 [J]. 生态学报, 1996, 16 (5): 497~508]

## Biomass Compositions of *Pinus tabulaeformis* Plantation and Their Relationships in the Dagou Valley of the Upper Minjiang River

LIWubin<sup>1,2</sup>, BAO Weikai<sup>2</sup>, HE Binghui<sup>1</sup>, WU Wenyan<sup>1,2</sup>, LI Fanglan<sup>2</sup>

(1. Southwest University, Beibei, Chongqing 400716, China;

2. Chengdu Institute of Biology, the Chinese Academy of Science, Chengdu 610041, China)

**Abstract** This paper studies on biomass distribution of different layers and their relationships in 22 and 24 ages *Pinus tabulaeformis* artificial forests in the Dagou valley in the upper of Minjiang River, and discusses the effect of arbor density, slope aspects and elevation on biomass, for revealing the relationship and composition of different layers biomass and their influential factors. The results show that 1) Both of 22 years and 24 years *P. tabulaeformis* artificial forests displayed a similar pattern of biomass, which is arbor > shrub > herb. Biomass allocation of *P. tabulaeformis* is following branch > trunk > leaf > root > bark/fruit. It was also found that the biomass of under-shrub and under-herb were influenced obviously by branch and leaf biomass of *P. tabulaeformis*. 2) The arbor densities have influenced the biomass and their distribution significantly on both forests. However, it seems that slope aspects have no significant effects on biomass. Biomass in 22 years *P. tabulaeformis* forests was also influenced by elevation, but the same effect was not found in 24 years forests. By comprehensive analysis, it indicates that the forests biomass will arrive at their equilibriums at about 3 800/ha in 22 years *P. tabulaeformis* forests and about 3 500/ha in 24 years in the area, so they will promote the restoration progress and improve the functions of ecosystem better.

**Key words** The upper Minjiang River, *Pinus tabulaeformis*, biomass, density, elevation, slope aspects