

甘肃小陇山森林生物量研究

程堂仁^{1,2} 马钦彦² 冯仲科² 罗旭²

(1 北京林业大学国家花卉工程技术研究中心 2 北京林业大学资源与环境学院)

摘要:为准确估计甘肃小陇山林区的碳库大小及碳汇功能,根据 1 259 块标准地和 836 株标准木资料,建立了锐齿栎等 8 种树种的各器官生物量回归方程,对小陇山不同林分的生物量进行了测定和研究.结果表明:小陇山林区锐齿栎、油松、栓皮栎、杨桦、落叶松、华山松、云杉、其他硬阔混交林等 8 类林分生物量依次为:84.047 2、62.442 4、81.774 7、77.436 7、68.998 2、70.069 5、96.486 5、98.723 5 t/hm²;各树种的单木生物量与胸径和树高之间均存在着紧密的相关关系;各种林分乔木层生物量与林分蓄积量,与林分平均胸径、平均树高及密度之间相关关系紧密.

关键词:生物量,林分类型,树种,小陇山

中图分类号:S718.55⁺6 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-1522(2007)01-0031-06

CHENG Tang-ren^{1,2}; MA Qin-yan²; FENG Zhong-ke²; LUO Xu². **Research on forest biomass in Xiaolong Mountains, Gansu Province.** *Journal of Beijing Forestry University* (2007) **29**(1) 31-36 [Ch, 17 ref.]

1 National Engineering Research Center for Floriculture, Beijing Forestry University, 100083, P. R. China;

2 College of Natural Resources and Environment, Beijing Forestry University, 100083, P. R. China.

In order to accurately estimate the size of carbon pool and the capacity of carbon sink in the forest region of Xiaolong Mountains, Gansu Province, this paper established regression equations of organ biomass of eight tree species such as *Quercus aliena* var. *acuteserrata* etc.; besides, it measured and investigated the biomass of different forest stand types, based on the data analyses from 1 259 standard sample plots and 836 standard sample stems. The results showed that stand biomass of eight stand types in Xiaolong Mountains, including *Q. aliena* var. *acuteserrata*, *Pinus tabulaeformis*, *Q. variabilis*, *Populus-Betula*, *Larix* spp., *Pinus armandii*, *Picea-Abies*, and hard broadleaved mixed forests, was as the followings: 84.047 2, 62.442 4, 81.774 7, 77.436 7, 68.998 2, 70.069 5, 96.486 5, 98.723 5 t/hm². It also shows that the biomass of single log of each tree species is closely related with the trunk diameter and tree height; biomass of tree as well as stand volume are closely related with the average trunk diameter, average tree height and stand density.

Key words biomass, stand types, tree species, Xiaolong Mountains

森林生物量是森林生态系统积累的植物有机物总量,是整个生态系统运行的能量基础和物质来源,是反映森林生态环境的重要指标.本文主要应用抽样、回归等方法,研究了甘肃小陇山不同类型的森林生物量,为人们认识该地区的森林结构和生产力特点提供依据,为研究该区域森林生态系统的碳库大小及碳汇功能评价奠定基础^[1-2].

1 研究地概况

小陇山位于甘肃省东南部,地处秦岭西段(33°30'~34°49' N, 104°22'~106°43' E),总面积为 623 808.0 hm²,为大陆性季风气候,属暖温带湿润区,多属壤土、轻壤土.全区有木本植物 824 种,其中乔木树种 312 种,灌木 512 种,草本植物 158 科 726 属 1 687 种.落叶树种有锐齿栎(*Quercus aliena* var.

收稿日期:2005-09-17

<http://journal.bjfu.edu.cn>

基金项目:国家自然科学基金项目(90302014).

第一作者:程堂仁,博士生,助理研究员.主要研究方向:森林生态系统.电话:010-62336682 Email:chentangren@163.com 地址:100083 北京林业大学 155 信箱.

责任作者:马钦彦,教授,博士生导师.主要研究方向:森林生态系统.电话:010-62336054 Email:maqinyan@bjfu.edu.cn 地址:100083 北京林业大学资源与环境学院.

acuteserrata)、栓皮栎 (*Quercus variabilis*)、山杨 (*Populus davidiana*)、白桦 (*Betula platyphylla*)、红桦 (*Betula albo-sinensis*) 等; 常绿树种主要有华山松 (*Pinus armandii*)、油松 (*Pinus tabulaeformis*)、日本落叶松 (*Larix leptolepis*)、云杉 (*Picea asperata*)、秦岭冷杉 (*Abies chensiensis*) 等. 灌木主要有悬钩子 (*Rubus* sp.)、蔷薇 (*Rosa* sp.)、榛子 (*Corylus heterophylla*)、胡枝子 (*Lespedeza bicolor*)、黄栌 (*Cotinus coggygria*) 等; 草本植物主要有长芒草 (*Stipa bungeana*)、艾蒿 (*Artemisia lavandulaefolia*)、白羊草 (*Bothriochloa ischaemum*)、白草 (*Pennisetum flaccidum*) 等^[3-8].

小陇山林管局辖区共有 21 个林场, 其中林业用地面积 515 219.0 hm², 占该区总土地面积的 82.6%.

全区幼、中龄林蓄积占 86.9%, 近、成、过熟林仅占 13.1%. 小陇山地区的建群树种为锐齿栎、油松、栓皮栎, 分别占森林总面积和总蓄积量的 71.52% 和 71.42%. 其他硬阔混交林也是小陇山地区的主要林型之一, 其树种包括水曲柳 (*Fraxinus mandschurica*)、大叶棕子木 (*Cornus macrophylla*)、槭类 (*Acer* sp.)、椴类 (*Tilia* sp.) 等. 党川林场地处小陇山的中部, 面积为 46 756.0 hm², 占小陇山林区总土地面积的 7.5%. 小陇山地区和党川林场的优势树种林分面积和蓄积量见表 1^[5,8]. 由表 1 可知, 党川林场的各种林分及其分布在小陇山林区具有代表性, 故将样地设置在党川林场境内.

表 1 小陇山各类林分面积、蓄积量

TABLE 1 Areas and stand volumes of different stand types in Xiaolong Mountains

林分	小陇山林业实验局				党川林场			
	面积/hm ²	比例/%	蓄积量/m ³	比例/%	面积/hm ²	比例/%	蓄积量/m ³	比例/%
锐齿栎	178 556.8	52.70	14 996 712.0	60.36	27 987.2	67.66	2 838 561.0	70.71
油松	46 755.8	13.80	1 518 251.0	6.11	1 610.8	3.89	128 328.0	3.20
栓皮栎	16 995.9	5.02	1 230 770.0	4.95	868.0	2.10	71 376.0	1.78
杨桦	7 082.5	2.09	614 588.0	2.47	706.7	1.71	65 753.0	1.64
落叶松	6 241.5	1.84	87 177.0	0.35	586.7	1.42	28 089.0	0.70
华山松	4 813.0	1.42	286 150.0	1.16	428.0	1.04	26 624.0	0.66
云冷杉	444.0	0.13	37 458.0	0.15	9.2	0.02	135.0	0.00
其中: 云杉	143.3	0.04	8 250.0	0.03	9.2	0.02	135.0	0.00
冷杉	300.7	0.09	29 208.0	0.12				
其他硬阔混交林	77 925.5	22.99	6 074 944.0	24.45	9 166.9	22.16	855 365.0	21.31
水、湖类	14.8	0.00						
合计	338 829.8	100.00	24 846 050.0	100.00	41 363.5	100.00	4 014 231.0	100.00

2 研究方法

2.1 标准地设置

试验选择林相相对整齐、具有一定代表性的地段

作为固定标准地. 根据各种林分所占比例和优势树种, 布设 0.06 hm² (24.495 m×24.495 m) 的正方形固定标准地 40 块^[9]; 借助林场森林资源二类清查小班资料, 设置临时标准地 1 219 块 (基本情况见表 2).

表 2 各类林分标准地概况

TABLE 2 General situations of sample plots in different stand types

林分	标准地小计	固定标准地	临时标准地	D 范围/cm	H 范围/m	ρ 范围/(株·hm ⁻²)	林龄范围/a	林下主要灌木与草本	主要土壤类型
锐齿栎	513	16	497	11.7~24.0	7.6~14.6	371~1 990	20~81	榛子、胡枝子、忍冬 (<i>Lonicera japonica</i>)、箭竹 (<i>Sinarundinaria nitida</i>)、蔷薇、禾本科 (<i>Gramineae</i>) 植物	褐土、棕壤
油松	118	9	109	2.8~22.5	1.7~21.5	429~23 333	12~72	榛子、胡枝子、忍冬、禾本科	褐土、棕壤
栓皮栎	111	1	110	6.0~18.6	4.3~13.1	509~2 674	20~84	榛子	褐土
杨桦	98	2	96	2.2~26.0	3.5~21.2	204~9 250	6~70	榛子、胡枝子、忍冬、卫茅 (<i>Euonymus alatus</i>)、悬钩子、箭竹、蔷薇、禾本科	褐土、棕壤
落叶松	120	2	118	1.7~21.0	2.2~20.6	450~6 375	8~65	胡枝子、蔷薇	褐土、棕壤
华山松	83	2	81	4.7~22.4	4.1~17.8	398~16 760	14~57	榛子、胡枝子、忍冬、悬钩子、红柳 (<i>Tamarix chinensis</i>)、禾本科	褐土、棕壤
云冷杉	47	2	45	4.6~25.0	4.4~18.0	450~5 300	10~69	榛子、忍冬、悬钩子、箭竹、禾本科	褐土、棕壤
其他硬阔混交林	169	6	163	12.0~24	9.2~14.1	311~1 716	22~75	榛子、胡枝子、忍冬、卫茅、悬钩子、箭竹、蔷薇、红柳、禾本科	褐土、棕壤
合 计	1 259	40	1 219	1.7~26.0	2.2~21.5	204~23 333	6~84		

2.2 单木生物量测定

标准地每木检尺,确定林分平均木和优势木.根据林木分级方法,采用 2 cm 为 1 个径阶,依据等断面径阶一株数法选取标准木^[10](表 3).伐倒标准木,根据径阶有选择地用全挖法挖根,实测标准木各器官鲜重.由于小陇山全部辖区属国家天然林保护工

程,采伐活立木受到极大限制,经申请,经甘肃省林业厅批准,试验共采伐标准木 102 株,其中主要建群种锐齿栎采伐标准木 32 株,油松采伐标准木 19 株.另在小陇山林业实验局林科所收集了 734 株标准木资料.各树种标准木情况见表 4.

表 3 各树种标准木径阶一株数统计

TABLE 3 Statistics on diameter classes and the numbers of sample stems of different tree species																					
径阶/cm	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	>40	小计
锐齿栎	3	9	5	8	7	10	9	21	18	22	15	8	10	4	9	7	3	4	2	4	178
油松	4	2	5	3	7	11	9	14	12	15	10	9	6	4	5	1	0	2	1	1	121
栓皮栎	2	5	5	8	7	6	8	11	9	9	7	4	2	0	3	2	1	1	0	2	92
杨桦	0	4	7	6	7	3	5	9	8	10	11	12	3	3	4	1	6	1	1	4	105
落叶松	0	1	3	6	1	4	8	15	21	14	2	0	3	0	1	1	0	0	0	0	80
华山松	2	4	3	3	2	5	12	7	9	16	11	2	3	1	2	2	1	1	0	0	86
云冷杉	0	2	3	1	0	2	4	8	8	8	5	0	4	2	1	3	1	0	1	4	57
其他硬阔叶树	6	5	9	4	11	3	6	9	11	18	7	8	6	5	2	0	4	2	0	1	117
合计	17	32	40	39	42	44	61	94	96	112	68	43	37	19	27	17	16	11	5	16	836

表 4 各树种标准木概况

TABLE 4 General situations of sample stems of different tree species					
树种	标准木株数			胸径范围/cm	树高范围/m
	小计	采伐	资料		
锐齿栎	178	32	146	3.8~47.7	2.5~24.0
油松	121	19	102	2.3~40.0	3.8~19.4
栓皮栎	92	5	87	3.3~46.3	3.5~15.0
杨桦	105	13	92	5.1~44.2	5.0~22.3
落叶松	80	7	73	6.3~31.5	5.0~20.0
华山松	86	10	76	4.0~38.3	3.0~20.1
云冷杉	57	6	51	5.5~45.7	6.0~20.5
其他硬阔叶树	117	10	107	3.8~43.1	2.0~22.0
合计	836	102	734	2.3~47.7	2.0~24.0

实测伐倒标准木的干、枝、叶、皮、根各器官生物量鲜重,分别取样,烘干至恒重,分别计算相应生物量干重.根据各树种的胸径、树高、各器官干生物量,用对数回归、二次曲线回归、直线回归、幂回归等 4 种回归模型计算与分析^[1-2,10-15].

2.3 林分生物量测定

林分生物量由乔木层、灌木层、草本层、枯落物层等组成.

根据单木生物量方程、标准地资料,用公式(1)分别计算每个标准地的乔木层生物量,然后计算林分乔木层平均生物量.

$$W = \sum_i^k \{ \exp[a + b \ln(D_i^2 H_i)] \} n_i \quad (1)$$

式中, k 为径阶组数, D_i 、 H_i 、 n_i 分别表示第 i 阶阶组的平均胸径、平均树高和株数^[10].

在每块标准地内按对角线布设 5 个 4 m² (2 m × 2 m) 的样方,采用收获法^[16]测定林下灌木层、草本层生物量,同时测定小样方内的地面枯落物量.采集灌

木的叶、枝、茎、根,草本层的叶、根,地面枯落物,分别取样烘干,换算成单位面积的生物量^[1-2,10-15].

3 结果与分析

3.1 单木生物量回归分析

用对数回归、二次曲线回归、直线回归、幂回归等 4 种数学回归模型计算,结果表明均有显著差异,其中以式(2)、(3)两种数学回归模型计算与分析的效果最好^[1-2,10-15,17].

$$\ln W = a + b \ln(D^2 H) \quad (2)$$

$$\ln W = a + b \ln D \quad (3)$$

8 种林分的生物量(W)与胸径(D)和树高(H)或胸径(D)之间均存在着紧密的相关关系,据此拟合出两种形式的树木各器官生物量和树木总生物量的回归方程(表 5),相关系数基本都在 0.9 以上,尤其是两种形式的总生物量回归方程的相关系数均在 0.97 以上.

3.2 乔木层生物量计算及分析

根据表 5、式(2)和标准地每木检尺数据,计算出 8 类主要林分乔木层树干、枝、叶、皮、根的生物量(表 6).根据标准地资料和表 6 计算结果,拟合出林分乔木层生物量(W)与林分蓄积量(V),林分乔木层生物量与平均胸径($\bar{D}$)、平均树高(H)及林分密度(ρ)之间的回归模型(表 7),相关系数均大于 0.92.模型对于利用标准地资料、林分蓄积量等资料直接推算林分乔木层生物量,具有较高的实用价值.

3.3 林下灌木层、草本层生物量计算

根据林下样方中灌木叶、枝和茎及根、草本叶和根的干生物量值,求得相应林分下各组分的平均值,估算出各种林分林下灌木层、草本层生物量(表 8).

表 5 各树种两种形式的单木生物量方程

TABLE 5 Single log biomass equations of two types for different tree species

树种	器官	$\ln W = a + b \ln(D^2 H)$			$\ln W = a + b \ln D$		
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i>
锐齿栎	干	−4.034 7	0.995 3	0.994 7	−2.967 8	2.526 4	0.985 1
	枝	−8.474 1	1.367 4	0.968 0	−7.080 5	3.494 4	0.965 2
	叶	−8.417 0	1.088 8	0.954 5	−7.184 4	2.742 2	0.937 9
	皮	−4.591 4	0.865 7	0.979 2	−3.637 7	2.188 9	0.966 0
	根	−3.363 0	0.777 3	0.985 7	−2.866 0	2.097 6	0.996 4
	总	−3.542 6	0.997 9	0.992 0	−2.507 5	2.544 4	0.986 9
油松	干	−3.882 8	0.935 9	0.996 2	−2.810 1	2.293 3	0.991 9
	枝	−6.380 7	1.124 2	0.982 6	−5.182 2	2.785 5	0.989 3
	叶	−5.327 7	0.881 2	0.949 6	−4.417 4	2.193 1	0.960 3
	皮	−5.112 9	0.864 9	0.986 2	−4.158 7	2.132 1	0.987 8
	根	−4.755 7	0.920 4	0.981 6	−4.029 4	2.356 9	0.982 0
	总	−3.523 4	0.965 5	0.991 0	−2.458 7	2.380 3	0.992 7
栓皮栎	干	−3.744 7	0.967 9	0.998 1	−2.873 9	2.395 2	0.993 4
	枝	−4.844 9	1.001 3	0.991 7	−3.943 9	2.477 8	0.987 1
	叶	−3.356 9	0.605 0	0.961 1	−2.750 5	1.475 2	0.942 5
	皮	−3.256 5	0.715 6	0.985 2	−2.581 9	1.760 0	0.974 5
	根	−2.906 6	0.814 4	0.994 1	−2.347 0	2.100 3	0.993 3
	总	−2.006 0	0.857 9	0.994 3	−1.214 1	2.115 9	0.986 3
杨桦	干	−3.802 3	0.963 1	0.991 9	−2.949 2	2.504 0	0.988 9
	枝	−5.907 0	1.090 3	0.943 0	−5.042 1	2.866 9	0.950 9
	叶	−3.910 8	0.610 4	0.791 0	−3.475 6	1.620 7	0.805 4
	皮	−5.833 0	0.968 2	0.956 1	−4.954 0	2.510 4	0.950 7
	根	−3.275 6	0.769 2	0.981 5	−2.618 5	2.002 4	0.983 1
	总	−2.836 0	0.922 2	0.987 9	−2.053 7	2.408 8	0.989 4
落叶松	干	−3.684 4	0.930 3	0.959 7	−2.770 7	2.404 8	0.994 4
	枝	−7.684 0	1.255 4	0.976 5	−6.225 9	3.163 9	0.986 4
	叶	−12.063 8	1.496 8	0.962 0	−10.410 5	3.803 2	0.979 8
	皮	−5.075 4	0.870 8	0.976 8	−4.051 5	2.190 0	0.984 7
	根	−5.187 2	0.970 9	0.985 7	−3.872 1	2.366 9	0.983 9
	总	−3.358 3	0.955 2	0.972 8	−2.344 2	2.441 9	0.996 8
华山松	干	−3.904 1	0.963 0	0.995 5	−3.148 0	2.456 7	0.987 2
	枝	−4.095 7	0.918 6	0.938 4	−3.649 6	2.438 0	0.968 2
	叶	−4.835 9	0.793 6	0.947 9	−4.419 0	2.095 5	0.973 0
	皮	−4.617 6	0.806 0	0.989 3	−3.993 3	2.058 9	0.982 5
	根	−8.371 0	1.345 6	0.991 1	−6.108 7	3.037 6	0.988 6
	总	−2.913 2	0.930 2	0.990 1	−2.296 2	2.411 9	0.998 0
云、冷杉	干	−3.974 4	0.943 4	0.985 8	−2.774 5	2.318 8	0.989 9
	枝	−4.635 0	0.925 7	0.955 0	−3.412 4	2.260 6	0.952 7
	叶	−5.939 1	0.975 3	0.984 8	−4.663 6	2.385 9	0.984 1
	皮	−5.558 7	0.893 0	0.985 5	−4.416 4	2.192 8	0.988 6
	根	−5.279 1	0.945 7	0.991 9	−4.059 8	2.319 2	0.993 7
	总	−3.299 9	0.950 1	0.993 4	−2.077 0	2.330 7	0.995 5
其他硬阔叶树	干	−3.885 2	0.980 3	0.984 4	−2.397 0	2.315 7	0.984 6
	枝	−5.636 0	1.085 1	0.886 9	−4.107 6	2.604 5	0.901 3
	叶	−4.532 0	0.737 7	0.870 5	−3.246 8	1.685 6	0.842 1
	皮	−4.448 0	0.771 3	0.914 0	−3.364 2	1.852 0	0.929 2
	根	−3.157 5	0.775 8	0.828 2	−2.311 3	1.954 1	0.857 1
	总	−2.570 0	0.903 7	0.973 1	−1.232 5	2.146 8	0.978 7

注:经检验,所有相关均显著.

表 6 各类林分乔木层平均生物量

TABLE 6 Average biomass of trees in different stand types

林分	总	干	枝	叶	皮	地上部分	比例/%	根	比例/%
锐齿栎	81.838 8	45.312 8	10.388 9	1.192 0	9.265 0	66.158 8	80.84	15.680 0	19.16
油松	60.697 6	29.833 0	9.730 9	4.748 6	5.239 5	49.551 9	81.64	11.145 7	18.36
栓皮栎	79.798 0	31.743 4	13.557 3	3.167 5	7.927 7	56.396 0	70.67	23.402 0	29.33
杨桦	75.382 8	39.720 0	13.570 9	2.244 8	5.431 5	60.967 2	80.88	14.415 6	19.12
落叶松	67.370 6	39.197 4	9.244 3	0.815 2	6.179 3	55.436 1	82.29	11.934 5	17.71
华山松	67.978 6	32.702 0	19.674 4	3.906 2	5.295 6	61.578 3	90.58	6.400 3	9.42
云冷杉	94.373 3	46.232 7	20.660 6	8.419 9	6.280 7	81.594 0	86.46	12.779 3	13.54
其他硬阔混交林	96.553 3	48.914 2	20.046 0	3.525 8	5.044 9	77.530 9	80.30	19.022 4	19.70

表 7 各类林分乔木层生物量回归模型

TABLE 7 Regression equations of biomass of trees in different stand types

树种	蓄积量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	生物量/ ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	$\ln W = a + b \ln V$			$\ln W = a + b \ln(D^2 H \rho)$		
			a	b	r	a	b	r
锐齿栎	96.874 1	81.838 8	-0.078 8	0.979 3	0.931 0	-10.261 3	0.991 4	0.999 9
油松	92.941 5	60.697 6	-0.466 4	1.005 2	0.963 3	-9.434 7	0.924 9	0.998 0
栓皮栎	75.203 5	79.798 0	0.492 5	0.901 6	0.983 2	-8.557 3	0.902 2	0.997 3
杨桦	89.401 7	75.382 8	-0.040 4	0.971 3	0.993 0	-8.485 0	0.873 5	0.998 4
落叶松	91.045 1	67.370 6	-0.417 3	1.021 1	0.990 5	-9.925 8	0.955 9	0.999 9
华山松	91.874 3	67.978 6	-0.612 7	1.066 1	0.995 9	-9.353 3	0.932 6	0.998 7
云冷杉	143.525 3	94.373 3	-0.391 6	0.994 3	0.995 9	-9.374 3	0.917 7	0.998 4
其他硬阔混交林	97.942 6	96.553 3	-0.148 2	1.027 4	0.926 4	-9.730 2	0.963 4	0.998 3

注:经检验,所有相关均显著.

表 8 各类林分林下灌木层、草本层生物量

TABLE 8 Biomass of shrubs and herbs in different stand types

林分	层次	地上部分				地下部分		合计
		叶	枝、茎	小计	比例/%	根	比例/%	
锐齿栎	灌木层	0.118 3	0.727 0	0.845 3	55.88	0.667 3	44.12	1.512 6
	草本层	0.045 8		0.045 8	37.91	0.075 0	62.09	0.120 8
	合 计	0.164 1	0.727 0	0.891 1	54.55	0.742 3	45.45	1.633 4
油松	灌木层	0.093 3	0.575 8	0.669 1	67.70	0.319 3	32.30	0.988 4
	草本层	0.068 3		0.068 3	30.14	0.158 3	69.86	0.226 6
	合 计	0.161 6	0.575 8	0.737 4	60.69	0.477 6	39.31	1.215 0
栓皮栎	灌木层	0.105 8	0.651 3	0.757 1	60.55	0.493 3	39.45	1.250 4
	草本层	0.057 0		0.057 0	32.80	0.116 8	67.20	0.173 8
	合 计	0.162 8	0.651 3	0.814 1	57.16	0.610 1	42.84	1.424 2
杨桦	灌木层	0.146 8	0.677 0	0.823 8	59.93	0.550 8	40.07	1.374 6
	草本层	0.121 5		0.121 5	59.47	0.082 8	40.53	0.204 3
	合 计	0.268 3	0.677 0	0.945 3	59.87	0.633 6	40.13	1.578 9
落叶松	灌木层	0.151 0	0.652 3	0.803 3	58.99	0.558 5	41.01	1.361 8
	草本层	0.103 3		0.103 3	38.86	0.162 5	61.14	0.265 8
	合 计	0.254 3	0.652 3	0.906 6	55.70	0.721 0	44.30	1.627 6
华山松	灌木层	0.148 8	0.666 5	0.815 3	59.55	0.553 8	40.45	1.369 1
	草本层	0.047 8		0.047 8	24.29	0.149 0	75.71	0.196 8
	合 计	0.196 6	0.666 5	0.863 1	55.12	0.702 8	44.88	1.565 9
冷杉*	灌木层	0.146 8	0.677 0	0.823 8	59.93	0.550 8	40.07	1.374 6
	草本层	0.121 5		0.121 5	59.47	0.082 8	40.53	0.204 3
	合 计	0.268 3	0.677 0	0.945 3	59.87	0.633 6	40.13	1.578 9
其他硬阔混交林	灌木层	0.217 3	0.631 3	0.848 6	53.22	0.745 8	46.78	1.594 4
	草本层	0.035 8		0.035 8	25.70	0.103 5	74.30	0.139 3
	合 计	0.253 1	0.631 3	0.884 4	51.01	0.849 3	48.99	1.733 7

注: * 由于云杉林多为人工林,均已形成郁闭,林下无灌草生长,只有林木自身的枯落物. 冷杉林林下灌木、草本层与红桦林相同.

3.4 林下枯落物层生物量

根据林下样方中枯落物生物量,计算各种林分林下枯落物的生物量:锐齿栎林 $0.575\ 0\ \text{t}/\text{hm}^2$,油松林 $0.529\ 8\ \text{t}/\text{hm}^2$,栓皮栎林 $0.552\ 5\ \text{t}/\text{hm}^2$,杨、桦林 $0.475\ 0\ \text{t}/\text{hm}^2$,华山松林 $0.525\ 0\ \text{t}/\text{hm}^2$,云杉林 $0.534\ 3\ \text{t}/\text{hm}^2$,其他硬阔混交林 $0.436\ 5\ \text{t}/\text{hm}^2$. 落叶

松林、冷杉林没有收集到枯落物.

3.5 林分生物量

根据林分乔木层生物量(表 6)、林下灌木层、草本层生物量(表 8)、枯落物层生物量,求得相应林分生物量(表 9).

表 9 各类林分平均生物量

TABLE 9 Average biomass of different stand types

林分	乔木层生物量			灌草层生物量			枯落物 生物量	生物量合计				
	地上	地下	小计	地上	地下	小计		地上	比例/%	地下	比例/%	小计
锐齿栎	66.158 8	15.680 0	81.838 8	0.891 1	0.742 3	1.633 4	0.575 0	67.624 9	80.46	16.422 3	19.54	84.047 2
油松	49.551 9	11.145 7	60.697 6	0.737 4	0.477 6	1.215 0	0.529 8	50.819 1	81.39	11.623 3	18.61	62.442 4
栓皮栎	56.396 0	23.402 0	79.798 0	0.814 1	0.610 1	1.424 2	0.552 5	57.762 6	70.64	24.012 1	29.36	81.774 7
杨桦	60.967 2	14.415 6	75.382 8	0.945 3	0.633 6	1.578 9	0.475 0	62.387 6	80.57	15.049 2	19.43	77.436 7
落叶松	55.436 1	11.934 5	67.370 6	0.906 6	0.721 0	1.627 6	0.000 0	56.342 7	81.66	12.655 5	18.34	68.998 2
华山松	61.578 3	6.400 3	67.978 6	0.863 1	0.702 8	1.565 9	0.525 0	62.966 4	89.86	7.103 1	10.14	70.069 5
云冷杉	81.594 0	12.779 3	94.373 3	0.945 3	0.633 6	1.578 9	0.534 3	83.073 6	86.10	13.412 9	13.90	96.486 5
其他硬阔混交林	77.530 9	19.022 4	96.553 3	0.884 4	0.849 3	1.733 7	0.436 5	78.851 8	79.87	19.871 7	20.13	98.723 5

4 结 论

小陇山林区 8 种林分的单木生物量与胸径、树高,生物量与胸径之间均存在着紧密的相关关系。

小陇山林区锐齿栎、油松、栓皮栎、杨桦、落叶松、华山松、云冷杉、杂木等 8 种林分的乔木层生物量依次为: 81.838 8、60.697 6、79.798 0、75.382 8、67.370 6、67.978 6、94.373 3、96.553 3 t/hm², 其中地上部分比例占 70.67%~90.58%, 地下部分比例占 9.42%~29.33%。灌木层生物量依次为: 1.512 6、0.988 4、1.250 4、1.374 6、1.361 8、1.369 1、1.374 6、1.594 4 t/hm², 其中地上部分比例占 53.22%~67.70%, 地下部分比例占 32.30%~46.78%。草本层生物量依次为: 0.120 8、0.226 6、0.173 8、0.204 3、0.265 8、0.196 8、0.204 3、0.139 3 t/hm², 其中地上部分比例占 24.29%~59.47%, 地下部分比例占 40.53%~75.71%。林分生物量依次为: 84.047 2、62.442 4、81.774 7、77.436 7、68.998 2、70.069 5、96.486 5、98.723 5 t/hm²; 其中地上部分比例占 70.64%~89.86%, 地下部分比例占 10.14%~29.36%。

小陇山林区林分乔木层生物量与林分蓄积量,林分乔木层生物量与林分平均胸径、平均树高及林分密度之间相关关系紧密,所拟合的林分生物量回归模型可用于其他标准地资料或森林清查资料直接对森林生物量进行推算,避免传统生物量测定方式对森林资源的破坏。

参 考 文 献

[1] 冯宗炜,王效科,吴刚.中国森林生态系统的生物量和生产力[M].北京:科学出版社,1999.
FENG Z W, WANG X K, WU G. Biomass and net productivity of the Chinese forest ecosystem[M]. Beijing: Science Press, 1999.

[2] 陈遐林.华北主要森林类型的碳汇功能研究[D].北京:北京林业大学,2003.
CHEN X L. Researches on carbon sequestration functions of main forest types in northern China [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2003.

[3] 魏智海.小陇山林业局天然林保护工程社会经济效益分析[J].西北林学院学报,2004,19(1):156-160.
WEI Z H. An analysis on social and economic benefits of the Natural Forest Resources Protection Project in Xiaolongshan Forestry Bureau [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2004, 19(1): 156-160.

[4] 索安宁,巨天珍,张俊华,等.甘肃小陇山锐齿栎群落生物多样性特征分析[J].西北植物学报,2004,24(10):1 877-1 881.
SUO A N, JU T Z, ZHANG J H, et al. Analysis of biodiversity characteristics of *Quercus aliena* var. *acuteserrata* community on Mt. Xiaolong in Gansu[J]. Acta Botanica Boreali -Occidentalia Sinica, 2004, 24(10): 1 877-1 881.

[5] 甘肃省林业勘察设计院.甘肃省小陇山林业实验局森林资源规划设计调查报告暨林业经营方案[R].兰州:甘肃省林业勘察设计院,1996.

Gansu Forestry Investigate and Design Institute (GFIDI). Forest inventory and planning report & forest management project of Xiaolongshan Forestry Experimental Bureau, Gansu Province [R]. Lanzhou: GFIDI, 1996.

[6] 安定国.小陇山地区高等植物志[M].兰州:甘肃民族出版社,1995.
AN D G. Flora of Xiaolong Mountains [M]. Lanzhou: Gansu Nationality Press, 1995.

[7] 毛学文,张海林,孔红.小陇山种子植物区系组成及特征的研究[J].植物研究,2003,23(4):485-491.
MAO X W, ZHANG H L, KONG H. A study on composition and characteristics of floristic in Xiaolong Mountains [J]. Bulletin of Botanical Research, 2003, 23(4): 485-491.

[8] 《甘肃森林》编辑委员会.甘肃森林[G].兰州:甘肃省林业厅,1998.
Editorial Board of Gansu Forests. Gansu forests [G]. Lanzhou: Forestry Department of Gansu Province, 1998.

[9] 冯仲科.精准林业[M].北京:中国林业出版社,2002.
FENG Z K. Precision forestry [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2002.

[10] 马钦彦.中国油松生物量的研究[J].北京林业大学学报,1989,11(4):1-10.
MA Q Y. A study on the biomass of Chinese pine forests [J]. Journal of Beijing Forestry University, 1989, 11(4): 1-10.

[11] 刘玉萃,吴明作,郭宗民,等.内乡宝天曼自然保护区锐齿栎林生物量和净生产力研究[J].生态学报,2001,21(9):1 450-1 456.
LIU Y C, WU M Z, GUO Z M, et al. Studies on biomass and net production of *Quercus autidentata* forest in Baotianman Nature Reserve [J]. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(9): 1 450-1 456.

[12] 陈存根,龚立群,彭鸿,等.秦岭锐齿栎林的生物量和生产力[J].西北林学院学报,1996,11(增刊):103-114.
CHEN C G, GONG L Q, PENG H, et al. Biomass and productivity of the sharp-tooth oak forests in the Qinling Mountains [J]. Journal of Northwest Forestry College, 1996, 11(Supp.): 103-114.

[13] 杨东,杨秀琴.甘肃武都五凤山林区油松人工林的生物量和生产力研究[J].西北师范大学学报(自然科学版),2004,40(1):70-75.
YANG D, YANG X Q. Studies on biomass and productivity of *Pinus tabulaeformis* plantation in the Wufengshan of Wudu, Gansu Province [J]. Journal of Northwest Normal University (Natural Science), 2004, 40(1): 70-75.

[14] 茹文明.老顶山人工油松林生物量的研究[J].河南科学,1999,14(增刊):64-65.
RU W M. A study on the biomass of *Pinus abulaeformis* forest on Laoding Mountains [J]. He'nan Science, 1999, 14(Supp.): 64-65.

[15] 党承林,吴兆录.黄毛青冈群落的生物量研究[J].云南大学学报(自然科学版),1994,16(3):205-208.
DANG C L, WU Z L. Studies on the biomass of *Cyclobalanopsis delavayi* community [J]. Journal of Yunnan University (Natural Science), 1994, 16(3): 205-208.

[16] 佐藤大七郎.陆地植物群落的物质生产[M].聂绍荃,译.北京:科学出版社,1986.
DAIHICHIRO S. Mass production of land plant communities [M]. NIE S Q, tran. Beijing: Science Press, 1986.

[17] XU H, WANG M L. Comparison of CAR and VAR biomass models [J]. Forestry Studies in China, 2001, 3(1): 32-36.

(责任编辑 赵 勃)