

# 内乡宝天曼自然保护区锐齿栎林生物量和净生产力研究

刘玉萃<sup>1</sup>, 吴明作<sup>1</sup>, 郭宗民<sup>1</sup>, 蒋有绪<sup>2</sup>, 刘世荣<sup>2</sup>, 王正用<sup>3</sup>, 刘保东<sup>3</sup>, 朱学凌<sup>3</sup>

(1. 河南农业大学, 郑州 450002; 2. 中国林业科学研究院, 北京 100091; 3. 河南内乡宝天曼自然保护区, 内乡 474350)

**摘要:**对河南内乡宝天曼自然保护区 35 年生天然次生锐齿栎林生物量和净生产力进行了测定和研究。结果表明:锐齿栎林生物量为 141.17t/hm<sup>2</sup>,净生产力为 7.39t/(hm<sup>2</sup>·a),其中乔木层生物量为 128.30t/(hm<sup>2</sup>·a),占总生物量的 90.88%,净生产力为 6.30t/(hm<sup>2</sup>·a),占总净生产力的 85.25%,生物量平均相对生长速率为 0.1238。灌木层、草本层的生物量和净生产力分别占总量的 0.79%和 0.37%、5.82%和 4.87%。凋落物层现存量为 11.23t/(hm<sup>2</sup>·a),占总生物量的 7.95%,年凋落物量 3.37t/(hm<sup>2</sup>·a),占总净生产力的 45.60%。净生产量与叶面积指数、叶量成正相关,而与叶效率成负相关。

**关键词:**生物量;净生产力;锐齿栎林;河南内乡;宝天曼自然保护区

## Studies on biomass and net production of *Quercus acutidentata* forest in Baotianman Nature Reserve

LIU Yu-Cui<sup>1</sup>, WU Ming-Zuo<sup>1</sup>, GUO Zong-Min<sup>1</sup>, JIANG You-Xu<sup>2</sup>, LIU Shi-Rong<sup>2</sup>, WANG Zheng-Yong<sup>3</sup>, LIU Bao-Dong<sup>3</sup>, ZHU Xue-Ling<sup>3</sup> (1. He'nan Agriculture University, Zhengzhou 450002, China; 2. The Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 3. Baotianman Nature Reserve, Neixiang 474350, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(9): 1450~1456.

**Abstract:** This paper studied biomass and net production of a 35-year natural secondary *Quercus acutidentata* forest in Baotianman Nature Reserve in Neixiang county, He'nan Province. The results showed that biomass of *Q. Acutidentata* forest was 141.17t/hm<sup>2</sup>, and its net production was 7.39t/(hm<sup>2</sup>·a), in which the treelayer biomass was 128.30t/hm<sup>2</sup>, which made up 90.88% of the total biomass; its net production was 6.30t/(hm<sup>2</sup>·a), which made up 85.25% of the total net production. The average relative growth rate of biomass was 0.1238. The biomass and the net production of shrub layer and herb layer were 0.79% and 0.37%, 5.82% and 4.87% of the total ones, respectively. The litter was 11.23t/hm<sup>2</sup>, which was 7.95% of the total biomass; the yearly litter was 3.37t/(hm<sup>2</sup>·a), which was 45.60% of the total net production. The net production had a positive correlation with leaf area index and leaf biomass, but a negative correlation with the leaf efficiency.

**Key words:** biomass, net production; *Quercus acutidentata* forest; Baotianman Nature Reserve; Neixiang county; He'nan Province

文章编号:1000-0933(2001)09-1450-07 中图分类号:S718.5.S759.9 文献标识码:A

锐齿栎(*Quercus acutidentata*)是暖温带的主要建群树种之一,广泛分布于辽宁、陕西、甘肃、河南、山东等省、在北、中亚热带的湖北、湖南、江苏、四川等省亦广泛分布;在河南伏牛山、太行山海拔 1000~2000m

基金项目:林业部“八五”攻关课题(编号 93-08-0602)资助项目

收稿日期:1999-11-15 修回日期:2000-03-15

作者简介:刘玉萃(1929~),男,江西鄱阳人,教授。主要从事森林生态、污染生态及生态评价研究。

的山地常成纯林。其木材坚硬,可供用于建筑、家具,种实富含淀粉,是中、高山地区水源涵养林较理想的经营、造林树种之一。锐齿栎稍耐荫,喜凉湿润气候及湿润土壤,天然下种更新较好,其萌芽更新的能力极强,在干扰小的情况下,可形成整齐的森林。目前对于生物量的研究较多<sup>[1~3]</sup>,但对于这一类型森林生物量的研究,迄今报道不多,文献资料也极少<sup>[4]</sup>。

笔者于 1993~1996 年对河南内乡宝天曼锐齿栎林的生物量进行了研究,为自然保护区的保护提供理论依据,为发挥锐齿栎林的生产潜力、促进森林生长及其生态效益;同时也为进一步进行锐齿栎林生态系统的能量流动与物质循环的研究提供基本资料。

## 1 研究地概况与研究方法

### 1.1 研究地概况

宝天曼自然保护区位于东经 111°53'~112°,北纬 33°25'~33°33'之间,海拔 800~1840m,自东北逐渐向西南降低,坡度多在 30°~60°,气候为暖温带大陆性季风气候。土壤为山地棕壤、黄棕壤及褐土类。降雨量为 900mm 左右,年平均相对湿度为 70%~80%。由于山体高大,地形复杂,相对高差达 1000m,对太阳辐射、气温、降水有明显的再分配作用,形成生态环境多样性。本区属于暖温带落叶阔叶林带。锐齿栎林年龄 35a,为天然林破坏后恢复的天然次生林,平均胸径 11.25cm,平均高 11.8m,乔木层常见少数伴生树种有山杨(*Populus davidiana*)、小叶青冈栎(*Quercus glauca f. Gracilis*)、化香(*Platycarya strobilacea*)、漆树(*Toxicodendron vernicifluum*)、椴树(*Tilia chinensis*)等。灌木层常见的有胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、绿叶胡枝子(*L. buergeri*)、南蛇藤(*Celastrus orbiculatus*)等,以胡枝子占优势。草本层平均覆盖度约 15%左右,主要种类有披针苔草(*Carex lanceolata*)、宽叶苔草(*C. siderosticta*)、臭草(*Melica scabrosa*)、狼尾草(*Pennisetum alopecuroides*)、珍珠菜(*Lysimachia clethroides*)等。

### 1.2 研究方法

1.2.1 标准地选择 选择林相完整、有代表性的地段作为固定标准地,同时选择邻近相同的作为对照。标准地面积为 20×20m<sup>2</sup>。

1.2.2 各项因子测定调查、取样 用常规方法每木检尺,并参考克拉夫特法(Kraft,1884)进行林木分级,选各级平均标准木各两株,用 Monsi<sup>[5]</sup>、木村允<sup>[6]</sup>的“分层割切法”作生物量测定,并按各层器官取样 500~1500g,于 80~85℃烘至恒重,计算绝干重及各层器官生物量。

在采用“分层割切”的同时,按测树树干解析的要求锯取圆盘,编号记载,然后计算林木生长量。

灌木、草本的生物量测定按全株收获法,在标准地内分别设置 2×2m<sup>2</sup>、1×1m<sup>2</sup>小样方各 5 个进行,并取样品烘干至恒重,换算成单位面积的生物量。

将分层割取的各层叶 30 片称重,用标准计算纸法,获得单位面积的乔、灌木叶面积。

1.2.3 计算公式 (1)生物量回归模型选择 对 4 个回归模型(对数回归、二次曲线回归、直线回归、幂回归)计算,分析结果,均有显著水平,其中以幂回归效果最好,其表达式为:

$$w = a(D^2H)^b \quad (1)$$

$$\text{或 } \lg W = \lg a + b \lg(D^2H) \quad (2)$$

根据树干解析各龄阶胸径与树高,用上述回归模型估算各龄阶单株、单位面积各器官的生物量。

(2)净生产力计算<sup>[5,7,8]</sup> 按木村允的平均生产力(PNM)是森林总生物量(W)被年龄(A)所除之商,即

$$PNM = W/A \quad (3)$$

年间净生产力(PNC)是森林某一年龄(a)的总生物量与上一年龄(a-1)的总生物量之差,以表示某一年龄间的净生产力,实际也是生物量的增量,即:

$$PNC = W_a - W_{a-1} \quad (4)$$

相对生长速率可用数学模型表达如下式<sup>[3]</sup>:

$$dW/dt = RW \quad (5)$$

万方数据

$$\text{积分式为: } \ln(W/W_0) = Rt \quad (6)$$

$$\text{或者: } R = (\ln W - \ln W_0)/T \quad (7)$$

式中,  $R$ : 相对生长速率;  $W_0$ : 生长初期干重;  $W$ : 生长一段时间后的干重;  $T$ : 时间。

## 2 结果与分析

### 2.1 乔木各器官生物量回归分析

用(1)式回归模型,对锐齿栎单株各器官生物量回归分析见表1。从表1看出,所配置的各器官的回归方程相关系数都在0.91以上,其回归精度除枝为77.9%外,其它均在91.99%~98.00%,表明按此回归模型计算生物量,具较高的实用价值。

表1 锐齿栎生物量的相对生长方程

Table 1 Relation growth equation of biomass of *Q. acutidentata*

器官 Organs	回归方程 Regression equation	相关系数 Correlation coefficient	回归精度 Regression accuracy	幅度 Scope	
				$x$	$y$
干 Trunk	$\lg W_T = -0.50753 + 0.67428 \lg(D^2H)$	0.9908	92.49		24.56~166.76
皮 Bark	$\lg W_B = -0.02833 + 0.61402 \lg(D^2H)$	0.9838	91.99	$D: 7.75 \sim 24.70$	5.05~30.76
枝 Branch	$\lg W_{Br} = -1.53264 + 0.75662 \lg(D^2H)$	0.9171	77.92	$H: 9.50 \sim 17.20$	4.51~46.29
叶 Leaf	$\lg W_L = -1.03526 + 0.39445 \lg(D^2H)$	0.9984	98.00		1.13~3.61
根 Root	$\lg W_R = -0.77669 + 0.64106 \lg(D^2H)$	0.9930	94.55		10.45~63.45

### 2.2 锐齿栎林的生物量及其分配

锐齿栎林由于乔木层郁闭度大,地面凋落物较厚,林内灌木、草本植物难以繁衍和入侵,因此乔木层下植物生物量所占比例很小(表2),同时从表2看出,锐齿栎林总生物量为141.17t/hm<sup>2</sup>,其生物量水平不算很高,各层生物量及其分布特点如下:

表2 锐齿栎林生物量及其分布(t/hm<sup>2</sup>)

Table 2 Biomass and its distribution of *Q. acutidentata* forest

生物量 Biomass	乔木层 Tree layer	灌木层 Shrub layer	草本层 Herb layer	凋落物 Dead soil covering
141.17	128.30	1.12	0.52	11.23
100	90.88	0.79	0.37	7.95

2.2.1 乔木层生物量及其分配 从表3看出,锐齿栎林乔木层生物量为128.30t/hm<sup>2</sup>,其中干占该层总生物量的54.74%,其它各器官生物量按大小排列顺序是根>皮>枝>叶。同时可以看出在各生长级具有明显的差异,I、II级木的株数占总株数27.44%,而其生物量占总生物量65.35%。表明在该林分已有林木分化现象出现。

从表4、图1看出,干、枝、叶、根各器官生物量都具有不同程度的增长,总的趋势是随着年龄的增长而渐积累增多,而相对生长速率则渐减少。各龄期各器官相对生长速率是枝>干>根>皮>叶,说明树枝、树干和树根干重占该林总干重比例大而增长快的趋势,也是总干重主要的积累,使干、根、枝更好地起着支持、输导和吸收作用,以维持其在生存空间的持续生长。幼龄期的10~15a间相对生长速率最大,比30~35a间的大3~6倍,平均相对生长速率为0.1238。生长速率的较不稳定性反映了其当时所处的气候的波动,结合林木各级株数与干重的对比关系,认为也反映了林分尚处于自然稀疏与分化阶段。

表3 乔木层生物量及其分布(t/hm<sup>2</sup>)

Table 3 The Tree layer biomass and its distribution

生长级 Growth class	株数 Number(No/hm <sup>2</sup> )	干 Trunk	皮 Bark	枝 Branch	叶 Leaf	根 Root	合计 Total (%)	
							合计 Total	(%)
I	221	30.16	5.55	8.44	1.59	10.84	56.58	44.10
II	228	15.23	2.65	1.98	0.54	6.86	27.26	21.25
III	553	14.39	3.00	0.77	0.30	6.78	25.24	19.67
IV	293	6.02	1.36	0.47	0.15	2.42	10.42	8.12
V	341	4.43	1.07	0.44	0.12	2.74	8.80	6.86
合计 Total	1636	70.23	13.63	12.10	2.70	29.64	128.30	100.00
(%)	万方数据	54.74	10.62	9.43	2.10	23.10		

表 4 锐齿栎林各器官各龄阶的生物量(t/hm<sup>2</sup>)Table 4 Biomass of different organs at different ages in *Q. acutidentata* forest

年龄 Ages	5	10	15	20	25	30	35
干 Trunk	1.50	4.77	17.09	28.25	38.35	58.24	70.23
皮 Bark	0.41	1.18	3.76	5.95	7.86	11.49	13.63
枝 Branch	0.16	0.59	2.48	4.35	6.14	9.81	12.10
叶 Leaf	0.28	0.56	1.18	1.58	1.89	2.42	2.70
根 Root	0.77	2.30	7.73	12.47	16.68	24.81	29.64
合计 Total	3.12	9.40	32.24	52.60	70.92	106.77	128.30

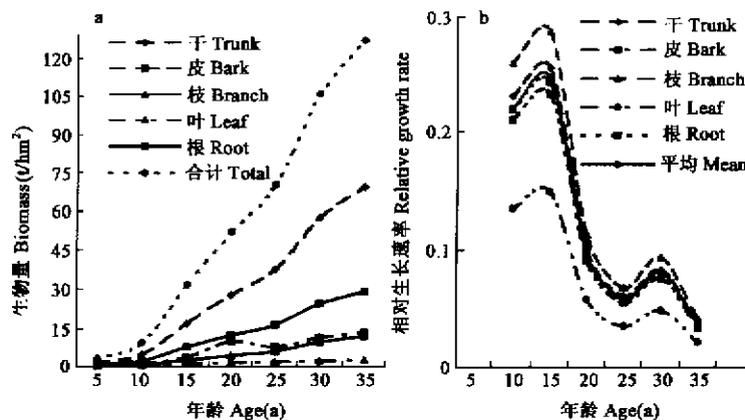


图 1 a)锐齿栎林生物量增量;b)锐齿栎林各龄阶年相对生长速率

Fig. 1 a)Biomass increment in *Q. acutidentata* forest;b)Relative growth rate at different age in *Q. acutidentata* forest

2.2.2 灌木层与草本层生物量及其分布 由于锐齿栎林郁闭度大、凋落物层厚等原因,灌木生长发育差,且水平分布极不均匀,生物量很少,灌木层生物量为 1.12t/hm<sup>2</sup>,其中大部分为地下部分,而叶、枝、茎生物量较少,见表 5。

从表 5 看出,草本层生物量为 0.52t/hm<sup>2</sup>,其中叶生物量为 0.28t/hm<sup>2</sup>,占总生物量的 54.38%,根占总生物量的 44.45%,其余部分极少。

表 5 灌木层、草本层生物量及其分布(t/hm<sup>2</sup>)

Table 5 Biomass and its distribution of shrub layer and herb layer

层次 Layer	叶 Leaf	枝、茎 Branch/Stem地上部分 Biomass above ground	根 Root	合计 Total
灌木层 Shrub layer	0.09	0.09	0.18	1.12
草本层 Herb layer	0.28	0.01	0.29	0.52
合计 Total	0.37	0.10	1.17	1.64
(%)	22.56	6.10	28.66	100

2.2.3 凋落物层生物量及其分配 林地凋落物层的生物量是锐齿栎林枯死凋落量与分解量的差值,其大小由积累速率和分解速率所决定,直接关系到森林群落的营养元素的生物循环和生产力。从表 6 看出,锐齿栎林凋落物层现存生物量为 11.23t/hm<sup>2</sup>,其中未分解层占 48.80%,半分解层占 25.82%,分解层占 25.38%(表 6)。在未分解层中以枯叶比例较大,一般在 50%~80%,在分解层以枯枝比例较大,占 60%~70%。半分解层及分解层占总量的较大部分,较短的周期对元素循环较为有利。

### 2.3 锐齿栎林产量结构

产量结构指生物量的各器官在垂直空间的分布结构。从表 7、图 2 看出,锐齿栎林的生物量在垂直高度

上分布较均匀,这有利于植物对空间的有效利用及其发展。平均冠长 8.6m,占树高 72.9%,其生物量主要在 3.2~8m 处,占总生物量 61.64%,而在此段也是枝叶繁茂之处,枝叶得以充分扩展,叶面积及其指数(LAI)达到最大,有利于光照的充分利用。但总的说来,叶面积指数并不是太大,也反映出其生物量水平不高的现象。

锐齿栎林为主根特别发达的深根性树种,根系分布可达 1.5~2.0m 以下,主要集中在 0.8~2.0m。

表 6 锐齿栎林凋落物层生物量(t/hm<sup>2</sup>)

Table 6 Biomass of dead soil covering in *Q. acutidentata* forest

未分解层 Not disintegrated layer	半分解层 Half disintegrated layer	分解层 Already disintegrated layer	合计 Total	分解率 Decomposed rate	周转期 Turnover
5.48	2.90	2.85	11.23	0.34	2.94
48.80	25.82	25.38	100		

表 7 锐齿栎林生物量、叶面积、叶面积指数垂直分布

Table 7 Vertical distribution of biomass, leaf area, leaf area index(LAI) in *Q. acutidentata* forest(m, t/hm<sup>2</sup>)

高度 Height	干 Trunk	皮 Bark	枝 Branch	叶 Leaf	叶面积 Leaf area	叶面积指数 LAI
0~2	25.18	4.74				
2~4	16.76	3.05	1.34	0.37	8195.06	0.82
4~6	14.13	2.87	6.52	0.81	17995.72	1.80
6~8	9.19	2.02	3.36	0.80	17766.63	1.78
8~10	4.06	0.77	0.59	0.48	10659.98	1.07
10~11.8	0.91	0.18	0.29	0.24	5329.99	0.53

2.4 锐齿栎林的净生产力

净生产力是单位面积上单位时间内减去吸收消耗外所产生的有机物质的量,用来衡量生产力的高低,净生产力分平均和年间两种。

本文所研究的净生产力,由于条件所限未包括动物、昆虫的取食量,比实际数值偏低,平均和年间净生产力是根据 10 株样木的树干解析所获得各龄阶(5a 为一龄阶)平均胸径和树高等数值,并根据模型、乔木密度,计算单位面积上各器官的生长量,代入(3)、(4)式而求得。树叶只计算当年的净生产力。其它灌木各器官以平均 3a 除器官生物量得净生产力。

从表 8 和表 9 看出,锐齿栎林的净生产力随年龄的递增而提高,在 10a 前增长较快,15a 以后较平稳增长。

干、皮、根随年龄递增其分配比递减,叶随年龄递增而提高。除当年生产的叶以外,其它各组分器官,年间净生产力分配比例以干最大 48%~53%,其次是根 21%~25%,枝 5%~9%。

由表 10 看出,锐齿栎林年净生产力达 7.39t/(hm<sup>2</sup>·a),其乔木层年净生产力的分布,除叶以外,干最大,占该层年总净生产力的 31.91%,树枝最小,仅 5.56%,各器官年净生产力排序为叶>干>根>皮>枝。灌木层、草本层年净生产力分别为 0.43t/(hm<sup>2</sup>·a)、0.362t/(hm<sup>2</sup>·a),其中地上部分分别占各层年净生产力的 27.91%、77.90%。

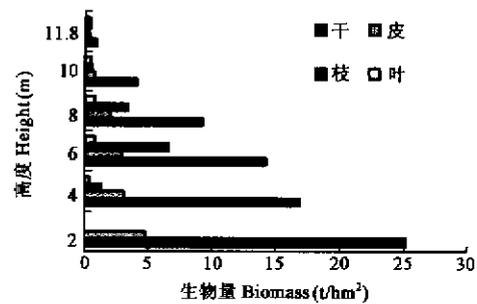


图 2 锐齿栎林产量结构图

Fig. 2 Structure of production in *Q. acutidentata* forest

表 8 锐齿栎林年间净生产力( $t/hm^2$ )Table 8 Net production of *Q. acutidentata* forest in certain period

器官 Organs	0~5	6~10	11~15	16~20	21~25	26~30	31~35
干 Trunk	1.50	3.27	12.32	11.16	10.10	19.89	12.00
皮 Bark	0.41	0.77	2.59	2.18	1.91	3.64	2.14
枝 Branch	0.16	0.43	1.87	1.88	1.78	3.67	2.29
叶 Leaf	0.28	0.56	1.18	1.58	1.89	2.42	2.70
根 Root	0.77	1.53	5.43	4.74	4.21	8.13	4.84
合计 Total	3.12	6.56	23.39	21.54	19.89	37.75	23.97

表 9 锐齿栎林年净生产力( $t/(hm^2 \cdot a)$ )Table 9 Net production of *Q. acutidentata* forest at different ages

器官 Organs	0~5	6~10	11~15	16~20	21~25	26~30	31~35
干 Trunk	0.30	0.48	1.14	1.41	1.53	1.94	2.01
皮 Bark	0.08	0.12	0.25	0.30	0.31	0.38	0.39
枝 Branch	0.03	0.06	0.17	0.22	0.25	0.33	0.35
叶 Leaf	0.28	0.56	1.18	1.58	1.89	2.42	2.70
根 Root	0.15	0.23	0.52	0.62	0.67	0.83	0.85
合计 Total	0.84	1.45	3.26	4.13	4.65	5.90	6.30

表 10 锐齿栎林年净生产力及分配

Table 10 Net production and its distribution in *Q. acutidentata* forest( $t/(hm^2 \cdot a)$ )

层次 Layer	项目 Items	干 Trunk	皮 Bark	枝 Branch	叶 Leaf	根 Root	合计 Total
乔木层 Tree layer	生长量 Production	2.010	0.390	0.350	2.700	0.850	6.300
灌木层 Shrub layer				0.030	0.090	0.310	0.430
草本层 Herb layer				0.002	0.280	0.080	0.362
合计 Total		2.01	0.390	0.382	3.070	1.240	7.092
	枯死量 Dead		0.120	0.180	3.070		3.370
	净生产量 Net production	2.010	0.510	0.562	3.070	1.240	7.392
	(%)	27.20	6.90	7.60	41.53	16.77	100

## 2.5 净生产力与叶的关系

叶的质、量及效能等在很大程度上影响生产量的积累,因此研究它们之间的关系极为重要。

生产量  $P$  等于叶量  $F$  与叶单位平均生产量  $P/F$  的乘积,即

$$P = F \times (P/F)$$

当  $P$  为净生产力时,则相当于以叶量除以呼吸量与非同化器官全体的呼吸量之差。地上部分的净生产力大部分是干、枝、叶生产的合计。本文研究了锐齿栎林地上部分净生产力与叶量、叶面积指数以及叶效率的关系,如图 3 所示。

从图中可以看出,锐齿栎林地上部分净生产力随年龄的增大而增加,也分别与叶面积指数、叶量成正相关,而与叶效率成负相关。对于叶效率,则与年龄、叶面积指数及叶量等成负相关。大多数相关关系可看成是曲线形式。

## 3 结论

3.1 利用胸径与树高建立的锐齿栎林各器官生物量的回归模型, $r$  值均在 0.9171~0.9984,其精度除枝为 77.9% 外,其余均在 91.99%~98.00%,故其回归方程作为相似生态条件下,估算锐齿栎林生物量具有一定的实用价值。

3.2 锐齿栎林生物量为 141.17t/hm<sup>2</sup>,乔木层占 90.88%,灌木层生物量为 1.12t/hm<sup>2</sup>,草本层生物量为 0.52t/hm<sup>2</sup>,凋落物为 11.23t/hm<sup>2</sup>。

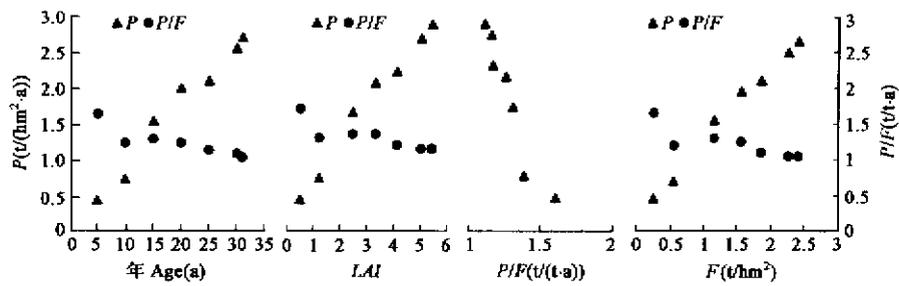


图3 锐齿栎林乔木层地上部分净生产力及叶效率与年龄、叶面积指数及叶量的关系

Fig. 3 The relationship between aboveground net production, leaf efficiency and age, leaf area index (LAI), leaf biomass of tree layer respectively in *Q. acutidentata* forest

3.3 锐齿栎林乔木层生物量为  $128.30\text{t}/\text{hm}^2$ ，其中干占该层总生物量的  $54.74\%$ ，其它各器官生物量按大小排列顺序是根>皮>枝>叶。林分中 I、II 级木株数占总株数  $27.44\%$ ，而其生物量占  $65.35\%$ ，从龄阶分析其生物量在  $10\sim 15\text{a}$  间的幼龄期相对生长速率最大，比  $30\sim 35\text{a}$  间的大  $3\sim 6$  倍，平均相对生长速率为  $0.1238$ 。

3.4 锐齿栎林的干、枝、叶及叶面积等所构成的空间垂直分布，干重是愈接近地面愈大， $6\text{m}$  以下占总量  $79.84\%$ ，枝、叶主要分布在中部，高度在  $4\sim 8\text{m}$  之间，分别占枝、叶总量的  $81.65\%$ 、 $59.63\%$ ，其叶面积、叶面积指数的数量也是同类情况，并近似正态分布。

3.5  $35$  年生锐齿栎林年净生产力  $7.39\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ ，而干的净生产力占乔木层净生产力的  $31.91\%$ 。地上部分净生产力随年龄的增加而增加，干、皮、根随年龄递增其分配比递减，叶则相反。净生产力和年龄、叶面积指数、叶量成正相关，而与叶效率成负相关。

#### 参考文献

- [1] 孙多, 阮宏华, 叶镜中. 空青山天然次生栎林的生物量结构. 见: 姜志林主编. 下蜀森林生态系统定位研究论文集. 北京: 中国林业出版社, 1992. 16~22.
- [2] France J, Thornley J H M. *Mathematical Models in Agriculture, Quantitative Approach to Problems in Agriculture and Related Sciences*. Butterworth & Co. (Publishers) Ltd., 1984. 75~80.
- [3] Ruark G A, Martin G L, Bockhaim J G. Comparison of constant and variable allometric ratios for estimating *Populus tremuloides* biomass. *forest Science*. 1987, 33(2): 294~300.
- [4] 江洪. 东灵山典型落叶阔叶林生物量的研究. 见: 陈灵芝主编. 暖温带森林生态系统结构与功能的研究. 北京: 科学出版社, 1997. 104~105.
- [5] M Monsi. 植物群落的数学模型. 植物生态学译丛(第一集). 北京: 科学出版社, 1974. 123~144.
- [6] 木村允, 姜恕, 等译. 陆地植物群落生物量的测定法. 北京: 科学出版社, 1981. 59~105.
- [7] 佐藤大七郎, 聂绍荃, 等译. 陆地植物群落的物质生产. 北京: 科学出版社, 1986. 1~18.
- [8] T Satoo. 产量法研究综述. 植物生态学译丛(第一集). 北京: 科学出版社, 1974. 26~39.