

## 不同年龄柏木混交林下主要灌木黄荆 生物量及分配格局

黎燕琼, 郑绍伟, 龚固堂, 陈俊华, 唐波, 朱自芳, 吴雪仙, 慕长龙\*

(四川省林业科学研究院, 四川 成都 610081)

**摘要:**灌木是森林生态中一个重要组成部分,以柏木林下主要灌木种-黄荆为研究对象,研究其在不同年龄柏木林下的生物量以及分配格局,同时利用简单指标对其生物量建立估测模型。研究表明:①随着林分年龄的增加,林下黄荆单丛生物量以及各器官生物量也随之增加,其中枝生物量相差值最大,差距达 24.3 倍,而生物量最小的叶片,其差距也达 6.9 倍。②黄荆地上各器官生物量分配大小表现为干生物量 > 枝生物量 > 叶生物量 > 皮生物量;根系生物量的分配以粗根和中根生物量为主,其中根桩和粗根生物量所占比重随着林分年龄的增加而增加,中根、小根和细根生物量所占比重则随着林分年龄的增加而减小;地上生物量所占比例较大,并随着林分年龄的增加逐渐降低,并最后趋于稳定。③建立生物量模型的简单指标以基径( $D$ )作为自变量优于利用株高( $H$ )和  $HD^2$  模型的建立;最优预测模型多为二次或三次曲线模型。其中干、枝和粗根生物量、地上生物量、地下生物量、单丛生物量建立的预测模型较好,其模型的相关系数在 0.8107—0.9293,达到极显著水平;皮生物量和根桩生物量的次之,模型相关系数分别为 0.7689 和 0.7926;中根和小根的生物量预测模型相对最差,模型的最大相关系数仅在 0.4410—0.4830。

**关键词:**柏木混交林;黄荆;生物量;分配格局;预测模型

## Biomass and its allocation of undergrowth *Vitex negundo* L. in different age classes of mixed cypress forest

LI Yanqiong, ZHENG Shaowei, GONG Gutang, CHEN Junhua, TANG Bo, ZHU Zifang, WU Xuexian, MU Changlong\*

Sichuan Academy of Forestry, Sichuan, Chengdu 610081, China

**Abstract:** The bush is an important component in forest ecosystem. In the hilly area of central Sichuan Basin, the biomass and its allocation of undergrowth *Vitex negundo* L. in different age classes of mixed cypress forest were measured and analysed, and the biomass allometric equations has been established. The results showed that: ① With the increase of forest age, the biomass and its components of the undergrowth single *Vitex negundo* L. increased. In which the difference of branch biomass is biggest, the disparity achieves 24.3 times; leaf biomass is the smallest which achieves 6.9 times. ② The aboveground biomass allocated in the order stem biomass > branch biomass > leaf biomass > bark biomass. The coarse roots and middle roots dominated the underground biomass. With the increase of forest age, the biomass proportions of stump and coarse roots increased, while those of middle roots, small root and fine root reduced. As a main part of biomass, the proportion of aboveground biomass in total biomass decreased with the increase of forest age and finally tended to stabilize. ③ The biomass as well as its component are more relevant to basal diameter ( $D$ ) alone than the height ( $H$ ) and  $HD^2$ .

**Key Words:** mixed forest of cypress; *Vitex negundo* L.; biomass; allocation; allometric equation

基金项目: 国家科技攻关资助项目(2006BAD03A03); 国家科技支撑资助项目(2008BAD98B05)

收稿日期: 2009-09-19; 修订日期: 2009-12-01

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mucl2006@yahoo.com.cn

林下灌木是森林生态系统中的一个重要组成部分,在整个森林生态系统营养元素的积累、循环、维持生物多样性,尤其是在促使林分养分步入良性生物循环和对森林林分未来的结构和组成以及受干扰后森林演替等多方面具有不可忽视的作用<sup>[1-6]</sup>。黄荆(*Vitex negundo* L.) 马鞭草科,牡荆属,是川中丘陵林区林下分布频率最大的灌木种;其茎皮的纤维组织是造纸的优良材料,叶片晒干点燃后的特殊气味,可作为代用蚊香驱虫使用;枝叶、茎干、根及果实具解热、治风湿、消疮肿之效能;黄荆提取物还具有杀虫活性<sup>[7-8]</sup>;由于树性强健,耐旱、耐瘠,还是重要水土保持植物。黄荆广泛分布于我国山东、河南、陕西、山西、长江流域及南部各省区,有着十分丰富的野生植物资源<sup>[8]</sup>;对其研究主要集中在生理方面,比如光合作用及水分利用效率<sup>[9]</sup>,黄荆提取物对有病虫害的防治<sup>[7-8]</sup>,利用其化感作用对入侵植物的控制<sup>[10]</sup>等。本文研究了川中丘陵区不同年龄柏木混交林或由柏木混交林发展而来的柏木纯林林下主要灌木-黄荆的生物量及其分配格局,并利用株高、基径等简单指标建立生物量估测模型;为林下黄荆的合理利用并充分发挥其综合效益和低效柏木林的改造提供理论依据,同时也可作为林下灌木层的能量流动,物质循环等提供基础资料。

## 1 研究区概况

研究区位于川中低山丘陵区的绵阳、阆中、射洪、广元等地,属于亚热带湿润季风气候区,四季分明。日照数 1300—1400h,年平均气温 17℃左右,年降雨量 800—1000mm,主要集中在 5—9 月份,无霜期 300d 以上。地层简单,母岩主要为砂岩,土壤主要为老冲积黄壤和紫色土为主,部分为姜石黄壤和灰白砂土。研究区林地主要是通过封山育林形成的次生林和营造的人工林。次生林主要为柏木(*Cupressus funebris*)、马尾松(*Pinus massoniana*)、麻栎(*Quercus acutissima*)纯林或其混生的针阔混交林;人工林主要为桉木(*Alnus cremastogyne*)—柏木混交林,或在林隙中补植柏木、湿地松(*Pinus elliotii*)等树种。林下灌木主要有黄荆(*Vitex negundo*)、马桑(*Coriariasinica*)、火棘(*Pyracantha fortuneana*)等;草本主要有白茅(*Imperata cylindrica*)、苔草(*Carexbrunnea*)、莎草(*Cyperus microiria*)和荩草(*Arthraxon hispidus*)等。

## 2 研究方法

(1) 于 2009 年 7—8 月,在川中丘陵区的柏木混交林或由混交林发展而来的柏木纯林,按照林分年龄设立样点,每个样点分别设置 1—2 个固定标准样地(20m × 20m),在固定样地内,对林下主要灌木-黄荆灌丛中基径、树高、冠幅的最大植株分别进行每木检尺,测定冠幅(直径<sub>东西</sub> × 直径<sub>南北</sub>)、株高( $H$ )、基径( $D$ )等指标。利用算术平均法求出平均株高和基径,以基径阶中值为标准,按不同径级,结合黄荆分布密度,每个样地选择 3—4 丛未经砍伐的样木,分地上部分(干、枝、叶、皮)、地下部分{根桩、粗根( $\varphi \geq 10$  mm)、中根( $5$  mm  $\leq \varphi < 10$  mm)、小根( $2$  mm  $< \varphi < 5$  mm)和细根( $\varphi \leq 2$  mm)}称重,取样。共 32 个样点,57 个样地,共调查 175 个样本(表 1)。其中 60、70a 柏木林是 1998 年国家天然林保护工程推行以前当地的主要用材林,尤其是林内阔叶树种被当地老百姓用作薪材遭到大量砍伐,部分林子也发展成为柏木纯林,林内乔木密度也降低,加之柏木林一般 15—20a 间郁闭<sup>[11]</sup>,导致 60、70a 样地郁闭度降低,部分林分甚至小于 20a。

(2) 分析与建模 将野外样品在实验室以 80℃ 烘干至恒重,计算组织含水量,根据鲜重和样方资料计算单丛生物量。采用 EXCEL 对黄荆的株高、冠幅、基径进行统计,采用 SPSS12.0 的 Bivariate Correlation 分析法对林分年龄、株高、冠幅与黄荆生物量的相关性进行分析,选择估测模型自变量;同时利用 Curve Estimation 分析法分别对黄荆生物量进行拟合,建立生物量估测回归方程,比较各方程判别系数( $R^2$ )大小,选出拟合较好、关系密切的模型作为生物量的估算模型。回归模型采用一次函数  $y = a + bx$ 、二次函数  $y = a + bx + cx^2$ 、三次函数  $y = a + bx + cx^2 + dx^3$ 、对数函数  $y = a + b \ln x$ 、幂函数  $y = ax^b$ 、指数函数  $y = ae^{bx}$  等。

## 3 研究结果

### 3.1 黄荆地上生物量及其分配

图 1 为不同年龄林下黄荆单丛地上生物量、各器官生物量及分配图。结果表明:随着林分年龄的增加,林下黄荆单丛地上生物量以及地上部分各器官生物量也随之增加,其中 20a 林下黄荆的单丛地上生物量(平均)仅为(56.46 ± 0.31)g,干、枝、叶、皮的生物量则分别为(24.6 ± 0.27)g、(15.52 ± 0.67)g、(12.71 ± 0.71)g

和 $(3.63 \pm 0.16)$  g;70a 林下黄荆的单丛生物量与干、枝、叶、皮的生物量则达到 $(880.62 \pm 1.97)$  g 和 $(365.79 \pm 0.84)$  g、 $(376.61 \pm 0.80)$  g、 $(87.99 \pm 0.45)$  g、 $(50.23 \pm 0.52)$  g,其中枝生物量的相差值最大,差距达到 24.3 倍,而相差最小的叶片生物量也达到 6.9 倍。根据方差分析和 LSD 检验结果表明:不同年龄林下,黄荆的地上单丛生物量以及地上各器官生物量间有显著性差异,但差异并不在所有间隔年龄的林下,尤其在不同器官间表现也不完全相同。从地上单丛生物量看,70a 林林下黄荆的地上单丛生物量与 60a 及 60a 以下年龄林下生物量间均有显著性差异,而 60a 及 60a 以下林下的黄荆地上单丛生物量间没有显著性差异。从各器官生物量上看,林下黄荆的枝生物量和皮生物量表现与地上单丛相同,即 70a 林林下与 60a 及 60a 以下年龄林下均有显著性差异,60a 及 60a 以下林内没有显著性差异;干生物量则表现为 70a 林下与 20—50a 林下均有显著性差异,其余年龄林下则无显著性差异;叶生物量则不仅表现为 70a 林下与 50a 及 50a 以下林内叶生物量有显著性差异,60a 林下叶生物量也与 20a 和 40a、50a 林下叶生物量间也有显著性差异。

表 1 样地概况统计表										
Table 1 Basic status of sampling sites										
林龄/a Age	地点 Site	海拔/m Altitude	坡位 Slope position	坡度/(°) Slope	坡向/(°) Slope face	郁闭度 Coverage	林种 Plantation	密度 /(ind. hm <sup>-2</sup> ) Density	平均胸径 /cm BDH	平均高 /m height
20	阆中	700	中	25	SW30	0.7	桉柏混交	1675	8.9	9.4
	阆中	800	中	30	SW45	0.7	桉柏混交	1750	8.8	8.7
	阆中	517	中	30	SE21	0.8	柏木纯林	2525	9.8	9.2
	盐亭	492	中	28	SE9	0.7	柏木纯林	2700	9.3	8.7
	盐亭	474	上	5	SW5	0.9	柏木纯林	2325	10.3	9.5
30	盐亭	800	上	4	SE30	0.9	桉柏混交	4375	8.0	6.6
	盐亭	700	上	25	SW35	0.8	桉柏混交	2525	9.5	7.4
	盐亭	520	中	20	SW15	0.6	桉柏混交	1250	9.7	8.1
	盐亭	400	中	15	NW25	0.6	桉柏混交	1575	9.8	6.8
	盐亭	320	下	6	EN20	0.6	桉柏混交	1750	9.1	8.6
	射洪	432	中	25	SE8	0.8	柏木纯林	2600	9.8	9.9
	射洪	560	上	20	EN25	0.8	柏木纯林	2925	9.6	9.0
	盐亭	508	上	5	SE45	0.5	柏木纯林	1250	9.1	8.5
	盐亭	500	上	3	SE15	0.9	柏木纯林	3125	9.1	8.6
	盐亭	495	上	7	SW20	0.8	柏木纯林	2300	11.6	8.9
	阆中	750	中	25	SW25	0.7	桉柏混交	1675	10.9	9.4
	阆中	820	中	30	SW30	0.7	桉柏混交	1750	10.8	8.7
	盐亭	507	上	15	E90	0.7	柏木纯林	1525	12.7	10.1
	盐亭	477	上	10	ES15	0.8	柏木纯林	2500	11.8	9.9
	盐亭	450	上	25	EN20	0.7	柏木纯林	2425	10.5	8.5
	射洪	375	上	20	EN15	0.7	柏木纯林	2150	11.6	10.2
	射洪	380	上	20	ES20	0.7	柏木纯林	1025	14.3	12.2
	乐至	410	上	15	W90	0.5	柏木纯林	1125	11.5	9.5
	乐至	425	上	15	WS15	0.4	柏木纯林	550	12.1	9.9
	广元	760	上	25	NE35	0.6	桉柏混交	1050	15.4	9.4
	广元	740	上	20	NW15	0.7	桉柏混交	1400	15.8	10.5
	射洪	378	下	20	WS20	0.7	柏木纯林	1025	16.3	12.2
	盐亭	673	中	15	WN40	0.5	柏木纯林	700	25.2	11.9
	盐亭	710	中	20	WE5	0.5	柏木纯林	850	24.2	12.0
	广元	794	上	10	WN15	0.7	柏木纯林	1500	25.7	15.4
	广元	800	上	20	WN55	0.8	柏木纯林	1625	23.4	12.8
	广元	750	上	15	WE25	0.7	柏木纯林	1020	26.5	15.7

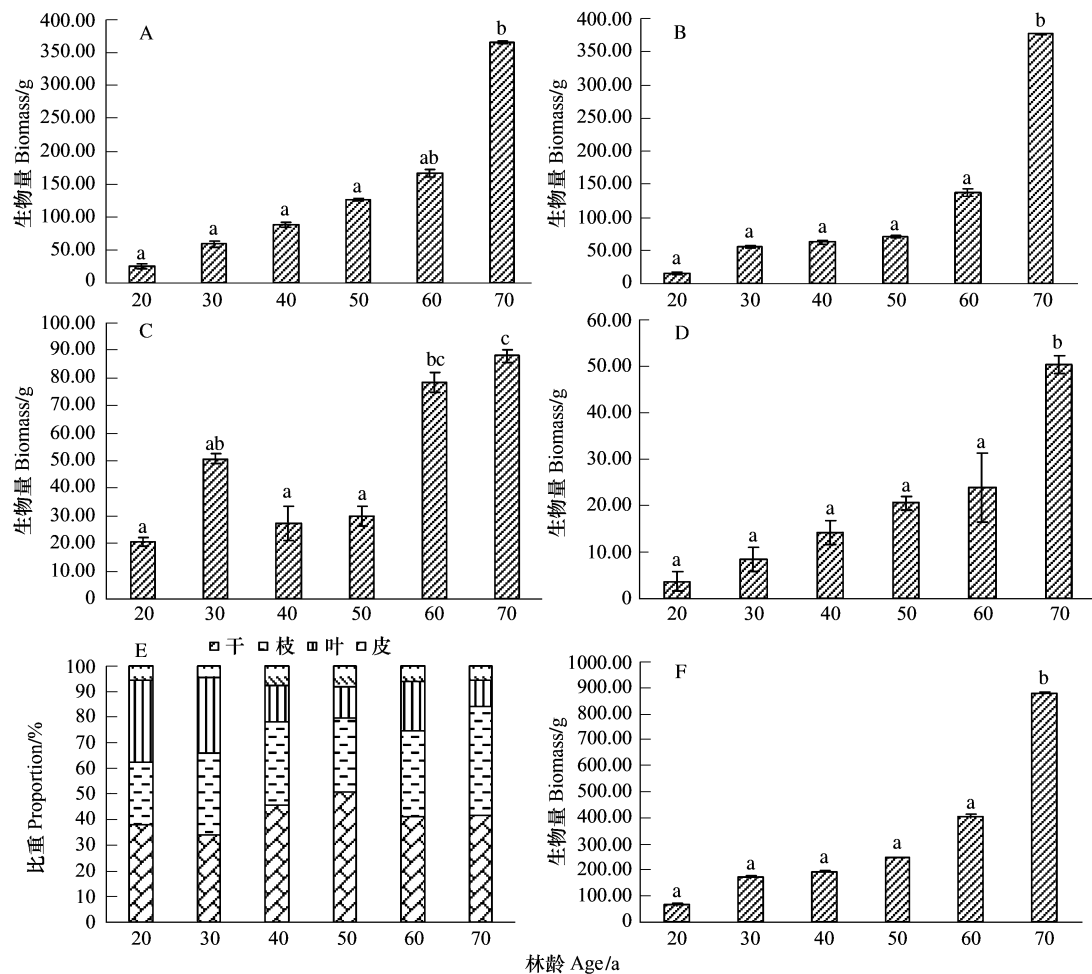


图1 不同年龄林下黄荆地上生物量及分配

Fig. 1 Ground biomass and its allocation of *Vitex negundo* L. in different age stages

A: 干生物量; B: 枝生物量; C: 叶生物量; D: 皮生物量; E: 地上部分生物量的分配; F: 地上生物量; 小写字母为 LSD 比较结果, 相同字母表示没有显著性差异, 不同字母表示差异性显著

从不同年龄林下黄荆的地上各器官生物量分配比例上看, 表现有差异。从总体分配上看, 地上各器官生物量分配大小表现为干生物量 > 枝生物量 > 叶生物量 > 皮生物量。在各年龄林下, 黄荆的地上各器官生物量分配比例则表现有差异。其中 70a 林下黄荆地上各器官生物量表现为枝生物量 > 干生物量 > 叶生物量 > 皮生物量, 干生物量和枝生物量所占比例差异不大, 分别为 43%、42%, 叶生物量所占比例是所有调查年龄林下中的最低, 仅为 10%; 其余年分林下黄荆地上各器官生物量分配与总体分配表现一致, 即干生物量最大, 其次枝生物量 > 叶生物量, 皮生物量最低。各器官生物量的分配在不同年龄的林下, 也有差异。其中林下黄荆枝生物量分配比例中 70a 林下分别与 20a 和 50a 的有显著性差异; 70a 林下最高 (43%), 20a 最低 (27%)。叶生物量的分配比例则表现为 70a 林下分别与 20、30a 有显著性差异, 在 20a 林下最大, 达到 23%。干和皮的生物量比例在各年龄的林下没有显著性差异, 其中干生物量比例最高达到 51% (50a), 最低仅为 40% (30a), 皮的生物量比例在 6% (20、30a)—8% (50a)。

### 3.2 黄荆地下生物量及其分配

图 2 是黄荆的单丛地下生物量、根桩生物量、各级根系生物量及分配图。从图上可以看出: 黄荆的单丛地下生物量总体表现为随着林分年龄的增加而逐渐增加, 但增加的幅度不同; 同时, 从生物量分配上看, 根桩生物量以及各级根系生物量表现均有差异。其中地下单丛生物量与根桩生物量均表现为: 70a 林下与 60a 及

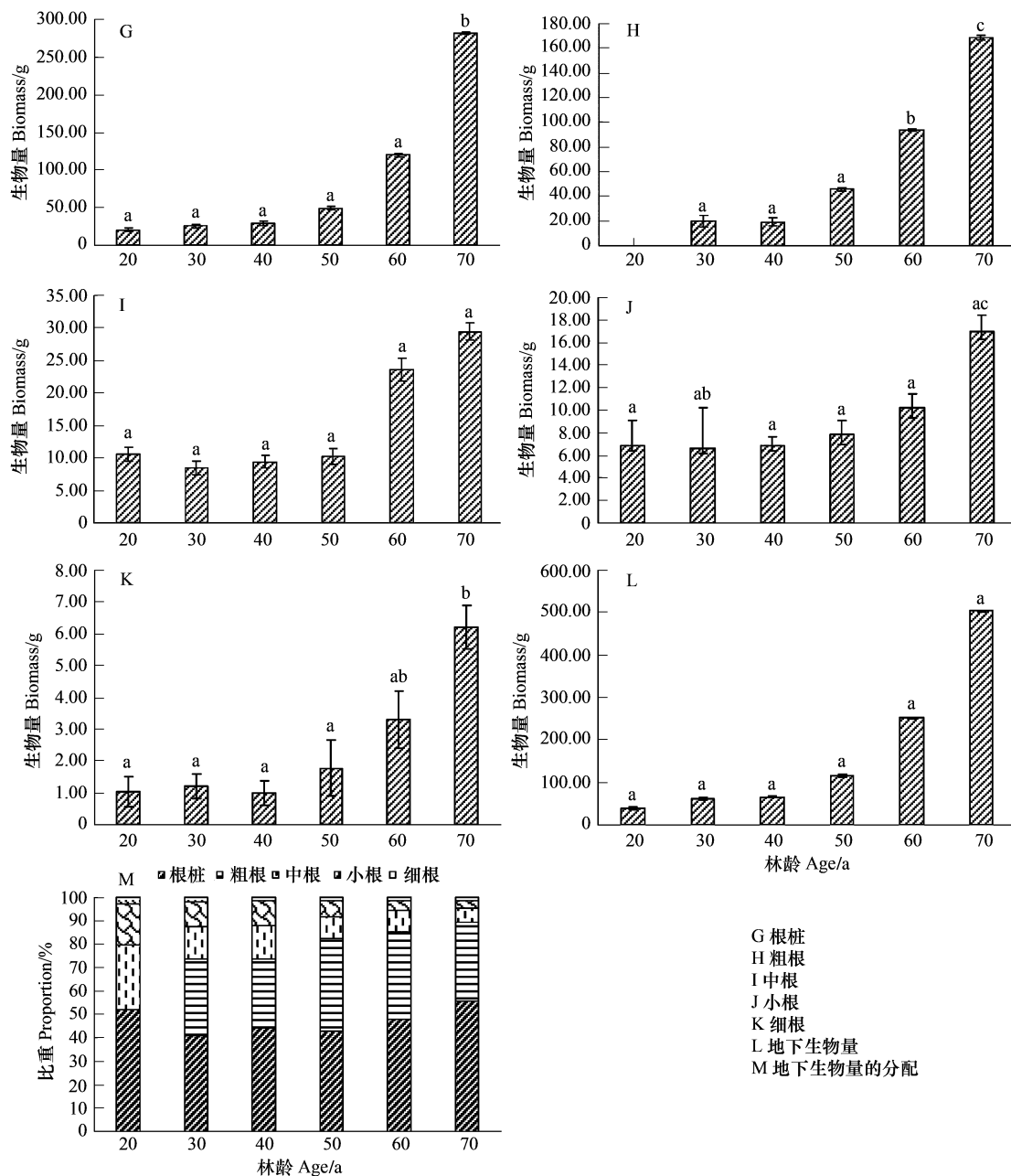


图2 不同年龄林下黄荆地下生物量及分配

Fig.2 Underground biomass and its allocation of *Vitex negundo* L. in different age stages

60a 以下林内的地下单丛、根桩生物量间有显著性差异;粗根生物量的差异仅表现为 70a 和 60a 林下分别与 30—50a 林下均有显著性差异,60a 与 70a 林下粗根生物量也有显著性差异(在 20a 林下黄荆没有粗根,不参与比较);小根生物量则表现为 30 年林下与 70a 有显著性差异,其余年龄林下生物量间没有显著性差异;中根生物量在各年龄林下均没有显著性差异。从生物量大小看,地下单丛总生物量、根桩生物量与粗根、中根、小根和细根的最高生物量(平均值)均出现在 70a 林下,分别达到  $(503.52 \pm 0.92)$  g、 $(281.8 \pm 0.85)$  g、 $(169.08 \pm 1.02)$  g、 $(29.45 \pm 0.97)$  g、 $(16.99 \pm 1.02)$  g、 $(6.21 \pm 0.95)$  g;最低单丛地下生物量仅为  $(38.67 \pm 1.04)$  g(20 年林下),与最高值间相差了 13.0 倍;根桩的最低生物量也出现在 20a 林下,仅为  $(20.21 \pm 0.97)$  g;中根和小根的最低生物量则出现在 30a 林下,分别为  $(8.50 \pm 0.67)$  g、 $(6.60 \pm 1.97)$  g,与最高值分别相差了 2.5 倍和 3.6 倍;细根最低生物量则出现在 40a 林下,仅为  $(0.98 \pm 0.38)$  g,与其最高值相差了 6.3 倍。

从黄荆地下单丛生物量的分配比例看,不同年龄林下分配有较大差异。其中 20a 林下,由于其黄荆没有粗根,地下生物量的分配主要以根桩、中根和小根为主,分别达到 52%、27% 和 18%,细根仅占 3%;30a 和 40a 林下黄荆的地下生物量则以根桩、粗根和中根为主,分别达到 41%、32%、14% 和 44%、29%、14%。而 50a、60a 和 70a 林下黄荆的地下生物量则以根桩和粗根为主,分别为 43%、40% 和 48%、37% 与 56%、34%。从地下生物量各器官在不同年龄林下的分配看,根桩和粗根生物量所占比重随着林分年龄的增加而增加,中根、小根和细根生物量所占比重则随着林分年龄的增加而减小。各器官生物量所占比重在不同年龄林下有也有较大的差异:其中,中根生物量所占比重在 20a 林下分别与其余年龄林下有显著性差异;小根生物量所占比重则表现为 20a 林下与 50—70a 林下有显著性差异。

### 3.3 单丛生物量及地上、地下生物量分配比例

从黄荆单丛生物量及地上、地下生物量分配比例图(图 3)可以看出,柏木林下的黄荆单丛生物量随着柏木林年龄的增加逐渐增加,其中 70a 林下黄荆的单丛生物量均值最大为  $(1384.14 \pm 0.61)$  g,与其余年龄柏木林下有显著性差异。从生物量的分配比例看,地上生物量所占比例较大,在 62%—75% 之间,其中 30a 和 40a 林下黄荆的地上生物量所占比例最大,分别达到 74% 和 75%。从不同年龄林内黄荆的生物量分配比例看,在 20—40a 林下,地上生物量比例随着林分年龄的增加而逐渐增加,到 50a 以后,随后林分年龄的增加,林内黄荆的地上生物量分配比例开始降低,并逐渐趋于稳定,变化幅度在 62%—64%;不同年龄林下黄荆的地上、地下生物量分配比例没有显著性差异。

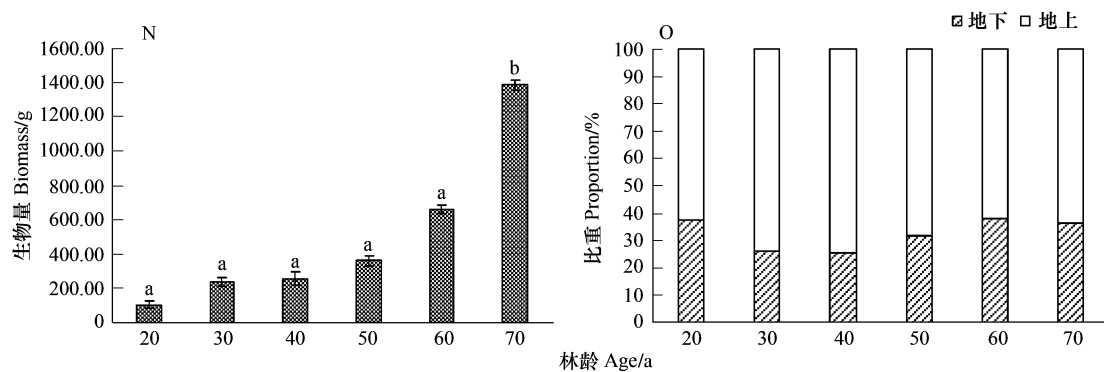


图3 不同年龄林下黄荆单丛生物量及分配

Fig. 3 Single and its allocation of organs of *Vitex negundo* L. in different age stages

N: 单丛生物量; O: 地上、地下生物量分配

本研究区域内,不同林分密度下的黄荆单丛生物量以及混交林和纯林林下的黄荆单丛生物量,经方差分析检验,结果表现为差异不显著。

### 3.4 黄荆生物量模型的建立与选择

生物量模型的建立与选择应建立在自变量参数与各器官生物量具有显著相关关系基础上<sup>[12]</sup>。依据相对生长法,对黄荆灌丛各径级个体地径、植株高度、冠幅与各器官生物量进行相关显著性分析(表 2)表明,林分年龄与树高、基径都有极显著性相关关系;林分年龄、树高、基径分别与黄荆各器官生物量以及地上、地下和单丛生物量都具有显著性相关关系;冠幅仅与部分器官生物量有显著性相关关系。故以生物量为因变量,分别以树高( $H$ )、基径( $D$ )和  $HD^2$  为自变量,进行曲线拟合,并筛选出估测黄荆单丛器官生物量的统计模型(表 3)。从筛选的模型来看,预测的生物量最优模型多以二次曲线和三次曲线为最佳,仅利用  $HD^2$  对黄荆皮生物量和粗根生物量的预测模型以直线方程最佳。从生物量预测指标的选择上看,利用  $D$  的预测效果最佳,而利用  $H$  的预测效果相对最差;而叶生物量的预测模型则表现为利用  $H$  的预测效果最佳。在对黄荆生物量的预测模型中,干、枝、叶生物量和粗根生物量、地上生物量、地下生物量、单丛生物量的预测效果最佳,其模型的相关系数较高,在 0.8107—0.9293,达到极显著水平,而且剩余回归标准差较小,说明估测值与实测值的拟合度

高,估测误差小;而中根和小根的生物量预测效果相对最差,模型的最大相关系数在 0.4410—0.4830。

表 2 简单指标与黄荆各器官生物量相关关系分析表  
Table 2 Correlations of sample targets and various organs biomass of the *Vitex negundo* L.

项目 Item	年龄 Age		树高 Height		基径 Basal diameter		冠幅 Crown	
	相关系数 Correlations	P(0.01)	相关系数 Correlations	P(0.01)	相关系数 Correlations	P(0.01)	相关系数 Correlations	P(0.01)
年龄 Age	1		0.580 **	0.0059	0.689 **	0.0005	0.361	0.1075
树高 Height	0.580 **	0.0059	1		0.844 **	0.0000	0.666 **	0.0010
基径 Basal diameter	0.689 **	0.0005	0.844 **	0.0000	1		0.642 **	0.0017
冠幅 Crown	0.361 *	0.1074	0.666 **	0.0000	0.642 **	0.0017	1	
叶生物量 Leaf biomass	0.658 **	0.0012	0.599 **	0.0041	0.791 **	0.0000	0.412	0.0635
枝生物量 Branch biomass	0.603 **	0.0038	0.821 **	0.0000	0.929 **	0.0000	0.690 **	0.0005
干生物量 Stem biomass	0.637 **	0.0019	0.826 **	0.0000	0.947 **	0.0000	0.694 **	0.0005
皮生物量 Bark biomass	0.732 **	0.0002	0.689 **	0.0006	0.839 **	0.0000	0.544 *	0.0109
根桩生物量 Stump root biomass	0.636 **	0.0019	0.383 *	0.0087	0.526 *	0.0143	0.302	0.1829
粗根生物量 Coarse roots biomass	0.713 **	0.0009	0.590 **	0.0099	0.814 **	0.0000	0.564 *	0.0147
中根生物量 Middle roots biomass	0.499 *	0.0213	0.386 *	0.0184	0.524 *	0.0147	0.335	0.1379
小根生物量 Small root biomass	0.471 *	0.0311	0.449 *	0.0414	0.612 **	0.0032	0.551 **	0.0096
细根生物量 Fine root biomass	0.576 **	0.0079	0.468 *	0.0376	0.609 **	0.0044	0.402	0.0787
地上生物量 Ground biomass	0.646 **	0.0016	0.820 **	0.0000	0.946 **	0.0000	0.679 **	0.0007
地下生物量 Underground biomass	0.711 **	0.0003	0.518 *	0.0162	0.686 **	0.0006	0.424	0.0557
单丛生物量 Single biomass	0.710 **	0.0003	0.756 **	0.0001	0.906 **	0.0000	0.624 **	0.0025

\* \* 表示显著水平  $P < 0.01$ ; \* 表示显著水平  $P < 0.05$

## 4 结论与分析

### 4.1 黄荆的生物量及分配

柏木林下黄荆地上各器官生物量(平均)分配大小表现为干生物量 > 枝生物量 > 叶生物量 > 皮生物量。这与刘兴良等对巴郎山川滇高山栎灌丛地上生物量<sup>[13]</sup>的研究结论相一致。但是,黄荆叶生物量所占地上生物量的比例,平均仅为 15.83%,相对辽东栎(19.82%)偏低。从不同年龄林分内黄荆叶生物量所占比例看,变化范围较大,在 10.00%(70a)—23%(20a)。尤其 20a 林下叶生物量比例远远高于,而到了 70a 则偏低。这大概是因为在 20a 柏木林内,黄荆处于生长发育期旺盛时期,叶片是各器官养分积累的重要场所之一,使得叶片相对数量较大,叶生物量比重较高;而随着林分年龄的增加,林下黄荆的生长并逐渐走过旺期,叶片的数量开始逐渐减少,期生物量所占比例开始减少。但总体而言,黄荆属于阳性喜光树种,上层乔木影响了林下光照,一方面使林下黄荆的叶片均表现为仅集中在枝条顶端的小部分地方,导致叶片生长量的减少,另一方面也影响了叶片质量,从而影响了其叶生物量所占比例。

在黄荆的根系生物量分配中,粗根和中根在根系生物量分配中,所占比例较高,分布范围在 39%—49%,而小根和细根的生物量比例仅在 5%—13%,与同类研究结果一致<sup>[14-15]</sup>。但在 20a 林下,黄荆的小根与细根的生物量所占比重达到 20%,远远高于同类研究。这可能是因为黄荆年龄小,根系生理活性强,根系发育不完全,尤其粗根还没有发育完成,导致细根和小根生物量所占比重增加。这和岳永杰等对岷江上游干旱河谷区人工林根系生物量研究结论相同<sup>[16]</sup>。随着林分年龄的增加,林下黄荆的年龄也增加。从不同年龄林下黄荆根系生物量的分配看,小根与细根生物量所占比重随着黄荆年龄的增加逐渐减小并最后趋于稳定。

### 4.2 生物量模型

基径( $D$ )、株高( $H$ )易于准确测量,并具有与植株生物量具有密切相关关系,在生物量模型的建立中, $D$ 、 $H$ 及复合因子 $HD^2$ 作为自变量被广泛应用<sup>[12,17-18]</sup>。从本试验建立生物量模型的变量选择上看,以基径( $D$ )作为自变量优于利用株高( $H$ )和 $HD^2$ 对柏木林下黄荆的生物量预测模型建立;这与杨清<sup>[19]</sup>等利用胸径对版纳

表 3 黄荆生物量的最优拟合模型统计表

Table 3 The optimal estimation models for biomass of the *Vitex negundo* L.

<i>Y</i>	<i>x</i>	曲线模型 Models	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>	<i>N</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
叶生物量	<i>H</i>	$Y = a + bx + cx^2$	-442.87	5.82	-0.02		0.8107	175	18.5597	0.0001
Leaf biomass	<i>D</i>	$Y = a + bx + cx^2 + dx^3$	397.17	-602.50	300.99	-40.68	0.7109		10.6536	0.0008
	<i>HD</i> <sup>2</sup>	$Y = a + bx + cx^2 + dx^3$	24.87	0.04	35.05	-3.71	0.5550		8.7288	0.0035
枝生物量	<i>H</i>	$Y = a + bx + cx^2$	-1876.36	22.72	-0.08		0.8107	175	18.5597	0.0001
Branch	<i>D</i>	$Y = a + bx + cx^2 + dx^3$	655.26	-1149.18	627.94	-82.04	0.9204		50.1268	0.0000
biomass	<i>HD</i> <sup>2</sup>	$Y = a + bx + cx^2$	-34.75	0.26	36.55		0.9108		70.4453	0.0000
干生物量	<i>H</i>	$Y = a + bx + cx^2 + dx^3$	-1425.87	18.43	-0.07	9.21	0.8503	175	24.6190	0.0000
Stem biomass	<i>D</i>	$Y = a + bx + cx^2 + dx^3$	78.25	-140.08	125.74	-12.61	0.9234		52.2384	0.0000
	<i>HD</i> <sup>2</sup>	$Y = a + bx + cx^2$	27.92	0.18	13.28		0.9157		75.9895	0.0000
皮生物量	<i>H</i>	$Y = a + bx + cx^2$	-305.63	3.71	-0.01		0.5074	175	4.4639	0.0230
Bark biomass	<i>D</i>	$Y = a + bx + cx^2 + dx^3$	104.44	-182.23	103.95	-14.69	0.7689		14.4178	0.0002
	<i>HD</i> <sup>2</sup>	$Y = a + bx$	-0.19	0.04			0.6941		15.8830	0.0003
根桩生物量	<i>H</i>	$Y = a + bx + cx^2$	-2442.28	27.33	-0.09		0.2005	175	1.0871	0.3891
Stump root	<i>D</i>	$Y = a + bx + cx^2 + dx^3$	2114.16	-3647.99	1904.05	-269.77	0.7926		16.5583	0.0001
biomass	<i>HD</i> <sup>2</sup>	$Y = a + bx + cx^2$	-105.32	0.37	93.85		0.5637		9.0449	0.0030
粗根生物量	<i>H</i>	$Y = a + bx + cx^2$	1297.94	15.48	-0.06		0.4754	175	3.9270	0.0338
Coarse roots	<i>D</i>	$Y = a + bx + cx^2 + dx^3$	506.90	-935.01	524.84	-74.58	0.8336		21.7118	0.0000
biomass	<i>HD</i> <sup>2</sup>	$Y = a + bx$	-27.33	0.17			0.6738		14.4566	0.0004
中根生物量	<i>H</i>	$Y = a + bx + cx^2$	-52.35	0.78	-0.01		0.1714	175	0.8962	0.4693
Middle roots	<i>D</i>	$Y = a + bx + cx^2 + dx^3$	142.66	230.46	119.73	-16.67	0.4410		3.4184	0.0497
biomass	<i>HD</i> <sup>2</sup>	$Y = a + bx + cx^2$	2.17	0.02	92.59		0.3480		3.7366	0.0501
小根生物量	<i>H</i>	$Y = a + bx + cx^2$	2.81	0.11	-0.01		0.2974	175	1.8340	0.1907
Small root	<i>D</i>	$Y = a + bx + cx^2 + dx^3$	18.14	-33.21	21.79	-3.14	0.4830		4.0484	0.0310
biomass	<i>HD</i> <sup>2</sup>	$Y = a + bx + cx^2$	2.20	0.01	27.31		0.4204		5.0767	0.0220
细根生物量	<i>H</i>	$Y = a + bx + cx^2$	-52.01	0.59	-0.01		0.4580	175	1.5064	0.2594
Fine root	<i>D</i>	$Y = a + bx + cx^2 + dx^3$	35.83	-61.61	32.45	-4.58	0.6269		7.2802	0.0041
biomass	<i>HD</i> <sup>2</sup>	$Y = a + bx + cx^2 + dx^3$	-1.52	0.01	82.77		0.5075		7.2144	0.0070
地上生物量	<i>H</i>	$Y = a + bx + cx^2 + dx^3$	-4050.73	50.68	-0.19	0.002	0.8191	175	19.6177	0.0000
Ground	<i>D</i>	$Y = a + bx + cx^2 + dx^3$	1235.14	-2074.02	1158.64	150.02	0.9293		56.9379	0.0000
biomass	<i>HD</i> <sup>2</sup>	$Y = a + bx + cx^2 + dx^3$	18.79	0.51	27.79	0.51	0.9117		72.2965	0.0000
地下生物量	<i>H</i>	$Y = a + bx + cx^2 + dx^3$	-3841.82	44.29	-0.15		0.2871	175	1.7455	0.2071
Underground	<i>D</i>	$Y = a + bx + cx^2 + dx^3$	2817.71	-4908.48	2602.87	-368.74	0.8486		24.2851	0.0000
biomass	<i>HD</i> <sup>2</sup>	$Y = a + bx + cx^2$	-124.51	0.57	59.20		0.6320		12.0205	0.0009
单丛生物量	<i>H</i>	$Y = a + bx + cx^2$	-7892.58	94.97	-0.35		0.6458	175	7.8993	0.0030
Single biomass	<i>D</i>	$Y = a + bx + cx^2 + dx^3$	4052.84	-6982.50	3761.50	-518.76	0.9063		41.9133	0.0000
	<i>HD</i> <sup>2</sup>	$Y = a + bx + cx^2$	-105.71	1.08	41.58		0.8331		34.9499	0.0000

甜龙竹生物量建立回归模型的研究结论相似。这可能是林下黄荆,因光照条件受到影响,为了充分进行光合作用,个体在最初的株高生长时候,增长速度加快,然而当其株高生长到一定高度时候,增长速度开始降低并逐渐趋于稳定,甚至下降,这就影响了黄荆的株高与其生物量的相关关系,从而也影响了预测模型的建立。叶片的最佳模型确是利用株高(*H*)为自变量建立的二次曲线模型。这可能与林下黄荆叶的生长有关系,在林下,黄荆的株高值越大,其叶片获得光合作用的几率越大,叶生物量也越大。

从生物量模型看,预测的生物量最优模型大都是利用基径(*D*)作为自变量建立曲线模型。其中干、枝和粗根生物量、地上生物量、地下生物量、单丛生物量的预测效果最佳,其模型的相关系数较高,在 0.8107—0.9293,达到极显著水平;皮生物量和根桩生物量次之,模型相关系数分别为 0.7689 和 0.7926;而中根和小根



的生物量预测效果相对最差,模型的最大相关系数在 0.4410—0.4830。灌木生物量自变量以及模型的选择是多样的,但都与灌木的形态有密切联系<sup>[20-21]</sup>。曾慧卿<sup>[22]</sup>等结合欆木(*Loropetalum chinense*)近似圆柱形的形态,采用冠幅( $C$ )和高度( $H$ )的符合因子  $CH$  作为变量对其生物量进行拟合;刘兴良<sup>[12]</sup>等结合川滇高山栎半球形的形状,采用基径( $D$ )、株高( $H$ )以及复合因子  $HD^2$  作为自变量对其生物量进行拟合,均取得理想效果。林下黄荆的形态不是圆柱形也不是球形,对其生物量的拟合中,以基径为自变量的曲线模型拟合较好,表明自变量与模型的选择都与其形态有密切联系。

## References:

- [1] Chen Y L, Cui X Y, Zhu L, Guan J Y. Status and role of the bush layer and main shrub species in nutrient cyclings of *Tilia amurensis*-*Pinus koraiensis* Forest. Journal of Northeast Forestry University, 1998, 26(4): 7-13.
- [2] Yang K, Guan D S. Selection of gaining quadrat for harvesting the undergrowth vegetation and its biomass estimation modeling in forest. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(2): 705-714.
- [3] Taylor A H, Huang J Y, Zhou S Q. Canopy tree development and undergrowth bamboo dynamics in old-growth *Abies-Betula* forests in southwestern China: A 12-year study. Forest Ecology and Management, 2004, 200: 347-360.
- [4] George L O, Bazzaz F. The fern understory as an ecological filter: emergence and establishment of canopy-tree seedlings. Ecology, 1999, 80: 833-845.
- [5] George L O, Bazzaz F. The fern understory as an ecological filter: growth and survival of canopy tree seedlings. Ecology, 1999, 80: 846-856.
- [6] Oakley B B, North M P, Franklin J F. Facilitative and competitive effects of a N<sub>2</sub>fixing shrub on white fir sap lings. Forest Ecology and Management, 2006, 233: 100-107.
- [7] Yuan L, Xue M, Liu Y Q. Toxicity and oviposition-deterrence of *Vitex negundo* extracts to *Plutella xylostella*. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(4): 695-698.
- [8] Yun L, Xue M, Xing J, Li C H. Toxicity of *Vitex negundo* extracts to several insect pests. Chinese Journal of Pesticides, 2004, 43(2): 70-72.
- [9] Yu L J, Liu Y, Li W, Xiang J, Wu G, Li M T. Photosynthesis, transpiration and water use efficiency of *Vitex negundo* under different geological background. Ecology and Environment, 2008, 17(3): 1100-1106.
- [10] Pan Y M, Tan C C, Pu G Z, Li X K, Chen Q X, Wei C Q. Effect of water extracts of *Vitex negundo* L. and *Alchornea trewioides* in karst area on the germ inaction of invasion plant *Eupatorium odoratum* L. Carsologica Sinica, 2008, 27(2): 97-102.
- [11] Wu P F, Zhu B. Wu P F, Zhu B. Structure and biomass dynamics of understory vegetation for the mixed Alder and Cypress plantation. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2008, 28(3): 44-48.
- [12] Liu X L, Hao X D, Yang D S, Liu S R, Su Y M, Cai X H, He F, Ma Q Y. Above ground biomass and its models of *Quercus aquifolioides* thicket community in Balangshan Mountain in Wolong Natural Reserve. Chinese Journal of Ecology, 2006, 25(5): 487-491.
- [13] Liu X L, Liu S O, Su Y M, Cai X H, Ma Q Y. Aboveground Biomass of *Quercus aquifolioides* Shrub Community and Its Response to Altitudinal Gradients in Balangshan Mountain, Shichuan Province. Scientia Silvae Sinicae, 2006, 42(6): 1-7.
- [14] Zhang X Q, Wu K H, Dieter M. A review of methods for fine-root production and turnover of trees. Acta Ecologica Sinica, 2000, 20(5): 875-883.
- [15] Vogt K A, Vogt D J, Palmiotto P A, Boon P, O'Hara J, Asbjornsen H. Review of root dynamics in forest ecosystems grouped by climate, climatic forest type and species. Plant and Soil, 1996, 187: 159-219.
- [16] Yue Y J, Yu X X, Mu C L, Liu X L, Su Y M, Zheng S W. Root Biomass and Its Distribution Patterns of Plantations in the Dry River Valleys of the Upper Reaches of Minjiang River. Journal of Northeast Forestry University, 2008, 36(2): 16-18.
- [17] Cai Z, Liu Q J, Ouyang Q L. Estimation Model for Biomass of Shrubs in Qianyanzhou Experiment Station. Journal of Central South Forestry University, 2006, 26(3): 15-23.
- [18] Luo Y J, Zhang X Q, Wang X K, Zhu J H, Hou Z H, Zhang Z J. Forest Biomass Estimation Methods and Their Prospects. Scientia Silvae Sinicae, 2009, 45(8): 129-134.
- [19] Yang Q, Shu G R, Duan Z B, He K H, Gup Y J, Wang Z L, Sun Q X, Peng Z H. Biomass structure and its regression models of *Dendrocalamus hamiltonii* Nees et Arn. ex Munro population. Journal of Northwest A & F University (Natural Sciences Edition), 2008, 36(7): 127-134.
- [20] Halpem C B, Miller E A, Geyer M A. Equations for predicting above-ground biomass of plant species in early successional forests of the western Cascade Range, Oregon. Northwest Science, 1996, 70(4): 306-320.
- [21] Zen H Q, Liu Q, Feng Z W, Ma Z Q, Hu L L. Estimation models of understory shrub biomass and their applications in red soil hilly region. Chinese

Journal of Applied Ecology, 2007, 18 (10):2185-2190.

- [22] Zen H Q, Liu Q, Ma Z Q, Zeng Z Y. The Regression Model of Loropetalum Chinese Biomass Based on Canopy Diameter and Plant Height. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2006, 30(4):101-104.

#### 参考文献:

- [1] 陈永亮, 崔晓阳, 祝宁, 关继义. 灌木层及主要灌木种在椴树红松林养分循环中的地位与作用. 东北林业大学学报, 1998, 26(4):7-13.
- [2] 杨昆, 管东生. 森林林下植被生物量收获的样方选择和模型. 生态学报, 2007, 27(2):705-714.
- [7] 袁林, 薛明, 刘雨晴等. 黄荆提取物对小菜蛾幼虫毒力及对成虫的产卵忌避作用. 应用生态学报, 2006, 17(4):695-698.
- [8] 袁林, 薛明, 邢健, 李昌浩. 黄荆提取物对几种害虫的杀虫活性. 农药, 2004, 43(2):70-72.
- [9] 余龙江, 刘彦, 李为, 项俊, 吴耿, 栗茂腾. 不同地质背景下黄荆的光合蒸腾及水分利用效率比较. 生态环境, 2008, 17(3):1100-1106.
- [10] 潘玉梅, 唐赛春, 蒲高忠, 李先琨, 陈秋霞, 韦春强. 岩溶区土著植物黄荆条和红背山麻杆水浸提液对入侵植物飞机草萌发的影响. 中国熔岩, 2008, 27(2):97-102.
- [11] 吴鹏飞, 朱波. 桉柏混交林林下植被结构及生物量动态. 水土保持通报, 2008, 28(3):44-48.
- [12] 刘兴良, 郝晓东, 杨冬生, 刘世荣, 宿以明, 蔡小虎, 何飞, 马钦彦. 卧龙巴郎山川滇高山栎灌丛地上生物量及其模型. 生态学杂志, 2006, 25(5):487-491.
- [13] 刘兴良, 刘世荣, 宿以明, 蔡小虎, 马钦彦. 巴郎山川滇高山栎灌丛地上生物量及其对海拔梯度的响应. 林业科学, 2006, 42(6):1-7.
- [14] 张小全, 吴可红, Dieter Murach. 树木细根生产与周转研究方法评述. 生态学报, 2000, 20(5):875-883.
- [16] 岳永杰, 于新晓, 慕长龙, 刘兴良, 宿以明, 郑绍伟. 岷江上游干旱河谷区人工林根系生物量及分布格局. 东北林业大学学报, 2008, 36(2):16-18.
- [17] 蔡哲, 刘琪璟, 欧阳球林. 千烟洲试验区几种灌木生物量估算模型的研究. 中南林学院学报, 2006, 26(3):15-23.
- [18] 罗云建, 张小全, 王效科, 朱建华, 侯振宏, 张治军. 森林生物量的估算方法及其研究进展. 林业科学, 2009, 45(8):129-134.
- [19] 杨清, 苏光荣, 段柱标, 何开红, 郭永杰, 王正良, 孙启祥, 彭镇华. 版纳甜龙竹种群生物量结构及其回归模型. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2008, 36(7):127-134.
- [21] 曾慧卿, 刘琪, 冯宗炜, 马泽清, 胡理乐. 红壤丘陵区林下灌木生物量估算模型的建立及其应用. 应用生态学报, 2007, 18(10):2185-2190.
- [22] 曾慧卿, 刘琪, 马泽清, 曾珍英. 基于冠幅及植株高度的. 木生物量回归模型. 南京林业大学学报(自然科学版), 2006, 30(4):101-104.