

岷江上游亚高山林区老龄林地上生物量动态变化

张国斌^{1,2}, 刘世荣^{1,*}, 张远东¹, 缪 宁¹, 王 晖¹

(1. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 国家林业局森林生态环境重点实验室, 北京 100091;

2. 黄山学院生命与环境科学学院, 黄山 245041)

摘要:中国川西亚高山森林中的天然林大部分为成过熟的老龄林, 对其生物量动态研究有助于了解其碳储量的动态变化规律。利用全国森林资源连续清查的 27 个固定样地数据, 基于地上各器官生物量与树干胸径(D)和树高(h)的异速生长方程, 估算了岷江上游亚高山林区老龄林地上生物量密度的动态变化特征及时空变化规律。结果表明, (1) 从 1988 ~ 2002 年期间, 老龄林地上生物量密度净增量为 $(27.311 \pm 15.580) \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 平均每年增长率为 $(1.930 \pm 1.091) \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 平均每年枯损率为 $(2.271 \pm 1.424) \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$; (2) 地上生物量变化受各径级保留木生长量、枯损量及进界生长量影响, 其中 20 ~ 40cm 径级保留木生长量与生物量净增量最大, >80cm 径级生物量增量最小, 40 ~ 60cm 和 60 ~ 80cm 径级生物量在调查期间净增量出现负增长。 (3) 岷江上游老龄林地上生物量动态变化具有时空异质性, 同一样地不同调查间隔期或同一调查期间不同样地间生物量变化不同, 不仅有增量数值大小差异, 还表现为生物量增量的正负差异。

关键词:老龄林; 地上生物量密度; 异速生长方程; 径级; 岷江上游

文章编号: 1000-0933(2008)07-3176-09 中图分类号: Q948 文献标识码: A

Dynamics of aboveground biomass of sub-alpine old-growth forest in the upper Minjiang River (UMR)

ZHANG Guo-Bin^{1,2}, LIU Shi-Rong^{1,*}, ZHANG Yuan-Dong¹, MIAO Ning¹, WANG Hui¹

1 Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry; Key Lab. of Forest Ecology and Environment, State Forestry Administration, Beijing 100091, China

2 School of Life and Environmental Science of Huangshan College, Huangshan 245041, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(7): 3176 ~ 3184.

Abstract: Majority of the natural forests in UMR are mature and over-mature. Accurate estimation of the Biomass in the old-growth forests will help quantify actual carbon sequestration and carbon sink size. The allometric equations of the relationship between above-ground biomass (AGB) of various tree organs and diameter at breast height (DBH) and tree height, which are constructed on the 4 consecutive forest resource inventory data of 27 permanent plots, was used to explore the dynamics of the above-ground biomass density (AGBD) and its temporal and spatial variation of sub-alpine old-growth forest in UMR. The results showed: (1) the net increase in AGBD was $(27.311 \pm 15.580) \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$ while the mean annual growth rate and the mean annual mortality rate were $(1.930 \pm 1.091) \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ and $(2.271 \pm 1.424) \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ during

基金项目:国家“十一五”科技支撑计划项目(No. 2006BAD03A0404, 2006BAD03A0402); 国家基础研究重点规划项目(2002CB111504); 国家林业局 948 项目(2004-4-66)

收稿日期:2007-11-15; **修订日期:**2008-04-22

作者简介:张国斌(1969 ~), 男, 安徽青阳人, 博士生, 主要从事景观生态和森林生物量碳汇研究. E-mail: guobing@caf.ac.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liusr@caf.ac.cn

Foundation item: The project was financially supported by the national “11th Five-year-plan” Science and Technology Program of China (No. 2006BAD03A0404, 2006BAD03A0402); National Key Project for Basic Research of China (No. 2002CB111504); SFA 948 Program of China (No. 2004-4-66)

Received date: 2007-11-15; **Accepted date:** 2008-04-22

Biography: ZHANG Guo-Bin, Ph. D. candidate, mainly engaged in landscape ecology forest biomass carbon. E-mail: guobing@caf.ac.cn

1988—2002, respectively. (2) the AGB depended largely on the growth and mortality rate of the remaining trees of different DBH classes and recruitment rate from one DBH class to another as well. The largest increment component of AGB came from DBH class at 20 cm to 40 cm, whereas the minimum increment component of AGB was above 80 cm. The net negative increment of AGB occurred at DBH ranging from 40—60cm to 60—80cm. (3) There were temporal and spatial variations of AGB in the alpine old-growth forests as AGB changed over time for the same sampling plot and AGB varied with location or sites for the same period. The variations not only reflected in numerical value but also in positive or negative biomass increment.

Key Words: old-growth forest; aboveground biomass density; allometric relationships; diameter class; the upper Minjiang River

森林生物量不仅能够反映生态系统在特定时段内积累有机物质的能力,而且是描述生态系统特征的重要参数^[1,2],也是评价森林结构与功能的理论基础^[3]。地上生物量的动态变化直接影响到森林的生产力及其分解过程^[4,5],对碳循环有重要影响作用。老龄林是主要的陆地碳库之一,Carey 等人研究结果表明,物种丰富的天然异龄成熟林对于陆地生态系统碳动态及全球碳收支的重要性,强调老龄林仍然对碳汇起着重要作用^[6~8]。最近研究也表明,原始老龄林仍有碳的净吸收^[9]。通过对老龄林碳库的容量及强度的动态研究,将有助于降低全球碳收支评估的不确定性。目前老龄林的碳汇动态及功能方面研究大多是以涡度相关方法进行年度与季节的动态分析^[10~13]。而老龄林各径级生物量动态变化较好地反映了林分特性和生态因子的影响,对老龄林生长动态的研究不仅可以了解其动态变化特征,还可以预测老龄林未来的发展趋势^[7]。目前运用森林资源清查资料进行区域森林生物量及碳汇研究较多^[14~16],而老龄森林生态系统中进行长期固定样地连续重复测定研究未见报到。森林生物量和生产力的研究多数是集中在地上乔木生物量组分上^[3,16],地上其他部分与地下部分生物量都根据此部分采用一定的经验系数方法推算^[17]。所以本文主要是以老龄林地上生物量(DBH>5cm)为研究对象,不包括地表及地下生物量部分。

岷江上游天然老龄林是亚高山区森林组成的重要部分,而亚高山森林是对全球气候变化响应较为敏感的森林类型区^[18],国内已有不少学者对该区域森林生物量以及生产力等方面进行了研究^[19~21]。研究该区老龄林动态变化有助于了解全球气候变化和人类经营活动对森林的影响。本研究通过分析岷江上游老龄林地上生物量随时间的变化特征,比较其生长量与死亡量变化对地上生物量的动态影响,探讨亚高山区天然老龄林地上生物量组成特征和动态变化与森林碳循环的关系,为长江中上游地区天然林保护工程的评价提供资料和数据参考。

1 研究区概况

岷江上游地处中国自然地理第一阶梯向第二阶梯过渡的高山峡谷地带(31°~33°N, 102°~104°E)。该区包括松潘、黑水、茂县、理县、汶川5县,流域面积为2.4万km²。该区生态与环境具有复杂性和脆弱性,其亚高山森林是中国西南及长江上游地区重要的生态屏障和水源涵养生态功能区。研究区年均温5.7~13.5℃,1月份均温-7.4~3.1℃,7月份均温14.5~22.7℃,年降水量490.7~835.8mm,年蒸发量1100~1600mm,年相对湿度62%~72%。植被垂直分异明显,老龄林主要分布在海拔2600~4000m处。岩石以古生带片岩、千枚岩、板岩及石灰岩为主,层次疏松,节理丰富,易于风化和崩塌。土壤以山地棕色灰化土、山地棕色森林土、山地褐土为主,其石砾、石块含量多,孔隙大,渗透性能强。形成的森林植被是以云杉(*Picea* spp.)和冷杉(*Abies* spp.)为主的川西亚高山针叶林^[22]。组成老龄林的主要树种有冷杉、云杉、落叶松(*Larix* spp.)、柏木(*Cupressus funebris*)、桦木(*Betula* spp.)和其他阔叶树等。

2 研究方法

2.1 材料来源

岷江上游连续4次一类清查的重复固定样地资料(1988~2002年)从国家林业局林业规划调查设计院获

取。系统抽样法确定样地(4 km × 8 km),面积为0.067 hm²,分别于1988、1992、1997 和2002 年进行固定样地每木检尺并编号,起测直径为5 cm。其中林龄大于100a的天然林样地共33个,主要是以云杉和冷杉为优势树种所组成的暗针叶林。除去目测样地和调查期间变异较大的样地,筛选27个样地资料进行本次研究。样地调查项目包括:胸径、树高、地类、树种、起源、土壤厚度、坡度、坡向、坡位、海拔、蓄积量。本研究的地上生物量是指DBH > 5cm 以上的乔木生物量,不包括灌木层、草本层及地下生物量。

2.2 生物量计算

国际上已有许多研究采用胸径(D)和树高(h)与树木地上各器官的异速生长关系, $W_x = a(D^2 h)^b$ 。 W_x 为各器官生物量, a 、 b 为参数,进行地上生物量的估算^[3,7,23]。单株树高根据四川省一元材积表中胸径和树高关系方程分别树种求出。通过各树种胸径和树高与各器官的异速生长方程,计算各样木器官的地上生物量,然后再将各器官生物量相加得整株树干的地上生物量,各株生物量相加得样地地上生物量,TAGB(total above-ground biomass) = $M_s + M_b + M_l$, M_s 为树干生长量、 M_b 为树枝生物量、 M_l 为树叶生物量。各树种所采用的生物量计算异速生长方程主要是采用本地区或附近地区已有的关系方程,如表1。采用Sigmaplot10.0软件绘图分析,SAS8.3软件进行统计计算与分析。

表1 岷江上游亚高山老龄林乔木地上生物量异速生长模型

Table 1 Allometric relationships for the above-ground tree biomass in old-growth forests in UMR

树种名称 Tree	树高与胸径关系 ^① Height and DBH relationships	地上器官 Organ of aboveground	异速生长方程 Allometric relationships	相关系数 Correlation coefficient	文献来源 Source of references
冷杉 <i>Picea</i> spp.	$H = 45.7974 + \frac{-1837.2261}{D + 38.4060}$	干 Stem	$W = 0.0139(D^2 \cdot h)^{1.0075}$	$R^2 = 0.9986$	[24]
		枝 Branch	$W = 0.0014(D^2 \cdot h)^{1.0503}$	$R^2 = 0.9118$	
		叶 Leaf $D < 40\text{cm}$	$W = 0.0003(D^2 \cdot h)^{1.2032}$	$R^2 = 0.9341$	
		$D > 40\text{cm}$	$W = 11.506 \ln(D^2 \cdot h) - 74.733$	$R^2 = 0.7539$	
云杉 <i>Abies</i> spp.	$h = \frac{D}{1.1286 + 0.0161 \times D}$	干 Stem	$W = 0.0405D^{2.568}$	$R^2 = 0.9890$	[24]
		枝 Branch	$W = 0.0037D^{2.7386}$	$R^2 = 0.9450$	
		叶 Leaf $D < 40\text{cm}$	$W = 0.0014D^{2.9302}$	$R^2 = 0.9419$	
		$D > 40\text{cm}$	$W = 29.541 \ln D - 63.15$	$R^2 = 0.7574$	
桦木 <i>Larix</i> spp.	$h = \frac{D}{0.6046 + 0.0460 \times D}$	干 Stem	$W = 0.14114(D^2 \cdot h)^{0.7234}$	$R = 0.99$	[25]
		枝 Branch	$W = 0.00724(D^2 \cdot h)^{1.0225}$	$R = 0.88$	
		叶 Leaf	$W = 0.01513(D^2 \cdot h)^{0.8085}$	$R = 0.91$	
柏木 <i>Cupressus funebris</i>	$h = \frac{D}{0.7459 + 0.0467 \times D}$	干 Stem	$W = 0.0754(D^2 \cdot h)^{0.7934}$	$R = 0.945$	[26]
		枝 Branch	$W = 0.0350(D^2 \cdot h)^{0.7119}$	$R = 0.955$	
		叶 Leaf	$W = 0.0685(D^2 \cdot h)^{0.6583}$	$R = 0.959$	
落叶松 <i>Larix</i> spp.	$h = \frac{D}{1.0015 + 0.0272 \times D}$	干 Stem	$W = \exp(-3.684) \cdot (D^2 \cdot h)^{0.9308}$	$R = 0.9597$	[27]
		枝 Branch	$W = \exp(-7.684) \cdot (D^2 \cdot h)^{1.2554}$	$R = 0.9765$	
		叶 Leaf	$W = \exp(-12.064) \cdot (D^2 \cdot h)^{1.4968}$	$R = 0.9620$	
其他阔叶树 Other broadleaf species	—	干 Stem	$W = 0.0097(D^2 \cdot h) + 5.8252$	$R^2 = 0.9914$	[24]
		枝 Branch	$W = 0.051(D^2 \cdot h) + 3.508$	$R^2 = 0.9825$	
		叶 Leaf	$W = 0.0004(D^2 \cdot h) + 0.7563$	$R^2 = 0.9333$	

① 四川省森林资源清查办公室编. 四川省一元立木材积表, 1980, 12, 49, 82, 121, 193

3 结果与分析

3.1 地上生物量变化特征

由表 2 看出,岷江上游老龄林地上生物量密度在研究期间(1988 ~ 2002 年)逐渐增加。森林地上生物量密度由 1988 年的 $(272.130 \pm 61.351) \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 增加到 2002 年的 $(299.441 \pm 65.543) \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 总净增量为 $(27.311 \pm 15.580) \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 平均每年净增长率为 $(1.930 \pm 1.091) \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 调查期间枯损变化率为 $(2.271 \pm 1.424) \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 进界生长率为 $(0.048 \pm 0.015) \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 保留木(前后期调查都被测定的树木)生长率为 $(4.148 \pm 0.907) \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。从组成地上生物量的干、枝和叶生长变化看,地上生物量的增加部分主要来自于树干生物量的增加,枝和叶的生物量增加相对较小。调查期间内胸高断面积和蓄积量的变化与地上生物量变化相一致,地上生物量增加了 10.04%, 胸高断面积增加了 9.49%, 蓄积相应增加了 9.73%。

表 2 岷江上游成熟林、过熟林地上生物量动态变化

Table 2 Dynamics of the above-ground biomass in mature and over-mature natural forests in UMR

参数 Parameter	1988	1988 ~ 1992	1992	1992 ~ 1997	1997	1997 ~ 2002	2002	14 年 Overall 14 years
地上生物量 Above-ground biomass ($\text{Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$)								
干 Stem, M_s	216.981 ± 51.048		221.843 ± 52.705		230.470 ± 54.280		237.521 ± 53.812	
枝 Branch, M_b	38.359 ± 8.113		39.380 ± 8.330		41.223 ± 8.648		42.499 ± 8.440	
叶 Leaf, M_l	16.790 ± 3.012		17.318 ± 3.169		18.225 ± 3.260		19.422 ± 3.415	
地上总生物量 TAGB(= $M_s + M_b + M_l$)	272.130 ± 61.351		278.541 ± 63.306		289.918 ± 65.196		299.441 ± 65.543	
净增量 Net gain		6.411 ± 7.425		11.377 ± 6.903		9.523 ± 11.373		27.311 ± 15.580
地上生物量变化率 Change rate in TAGB($\text{Mg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)								
保留木生长部分 Tree growth, G_w		3.613 ± 1.052		3.984 ± 0.993		4.848 ± 1.375		4.148 ± 0.907
进界生长量 Recruitment, R_m		0.036 ± 0.020		0.040 ± 0.022		0.067 ± 0.024		0.048 ± 0.015
枯死量 Death, D_m		1.998 ± 1.543		1.776 ± 1.380		3.039 ± 2.225		2.271 ± 1.424
净增量 Net gain (= $G_m + R_m - D_m$)		1.652 ± 1.851		2.248 ± 1.379		1.892 ± 2.277		1.930 ± 1.091
胸高断面积 DBHA ($\text{m}^2 \cdot \text{hm}^{-2}$)	49.332 ± 10.239		50.406 ± 10.531		52.404 ± 10.835		54.015 ± 10.686	
蓄积量 Volume ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	541.961 ± 124.310		554.852 ± 128.862		576.813 ± 132.942		594.717 ± 131.361	
蓄积量变化率 Change rate in volume ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)		3.223 ± 3.640		4.392 ± 2.627		3.581 ± 4.468		3.732 ± 2.102

($p < 0.05, n = 27$)

3.2 地上生物量径级结构及其变化特征

生物量径级结构是指不同直径生物量所占地上总生物量的分配比例。以 20cm 为径级划分尺度,将直径划分为 $< 20\text{cm}$ 、 $20 \sim 40\text{cm}$ 、 $40 \sim 60\text{cm}$ 、 $60 \sim 80\text{cm}$ 和 $> 80\text{cm}$ 五个径级^[7,28]。各径级所占地上总生物量及变化情况如图 1(b) 所示,径级 $< 20\text{cm}$ 和 $> 80\text{cm}$ 所占地上总生物量较小,分别是 3.0% ~ 3.4% 和 4.4% ~ 4.7%, 其他 3 个径级生物量所占比例分别为 26.6% ~ 27.4%、34.0% ~ 35.3% 和 29.3% ~ 31.1%, 其中 $40 \sim 60\text{cm}$ 径级生物量所占比例最高。20 ~ 80cm 区间的生物量占地上所有径级总生物量的 92%, 在 4 次调查中,各径级

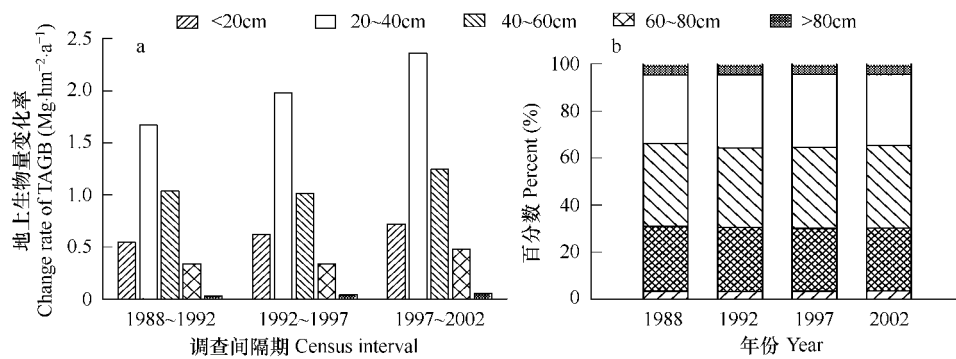


图1 径级生物量结构及其变化特征

Fig. 1 Biomass pattern and change in the different DBH class

生物量组成比例变化较小,说明老龄林地上各径级生物量组成变化不明显。保留木生物量的生长是地上生长量增加的主要来源。从图1(a)可以看出,保留木各径级生物量年增长率差异较大,年增长率最大的径级为20~40cm,3次调查间隔期内,其增长率分别为1.669、1.979 $\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 和2.359 $\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。其次是径级40~60cm,其生物量增长分别为1.034、1.010 $\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 和1.244 $\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$, >80cm 径级增长率最小,此部分的生长量增长率相当于20~40cm 径级的1.7%~2.1%,由此可以看出,老龄林保留木各径级地上生物量都有一定的生长率,但主要是在径级20~60cm 之间,其他径级林木生物量增长相对较小。

3.3 地上生物量的动态变化特征

地上生物量的变化主要是保留木生长量、前期调查测定而后期调查没有测定的枯损部分和前期没有进入检尺范围($\text{DBH} < 5\text{cm}$) 而后期调查已进入检尺范围的进界生长3部分组成,地上生物量的增加与减少由这3部分决定。进界生长量分布在小径级,而保留木生长量与枯损量在各径级均有分布,从图2可以看出,3次调查间隔期内,20~40cm 径级保留木生物量单位面积增量最大,40~60cm 径级枯损量最大。在各径级生物量净增量方面,20~40cm 生物量单位面积净增量最高,3次分别为4.78、6.26 $\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和7.311 $\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$,其次是<20cm 径级,其单位面积净增量为1.96、3.12 $\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和3.43 $\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。40~60cm 径级生物量净增量在1988~1992年与1997~2002年期间为负增长。60~80cm 径级在各调查期间,保留木生长量与枯损部分基本相等,说明此径级生物量的净变化量较小,处于一种动态平衡状态,在径级>80cm 部分林木未出现枯死现象,所以只有地上生物量增量,但增量很小。影响地上生物量动态变化主要集中于中小径级林木。

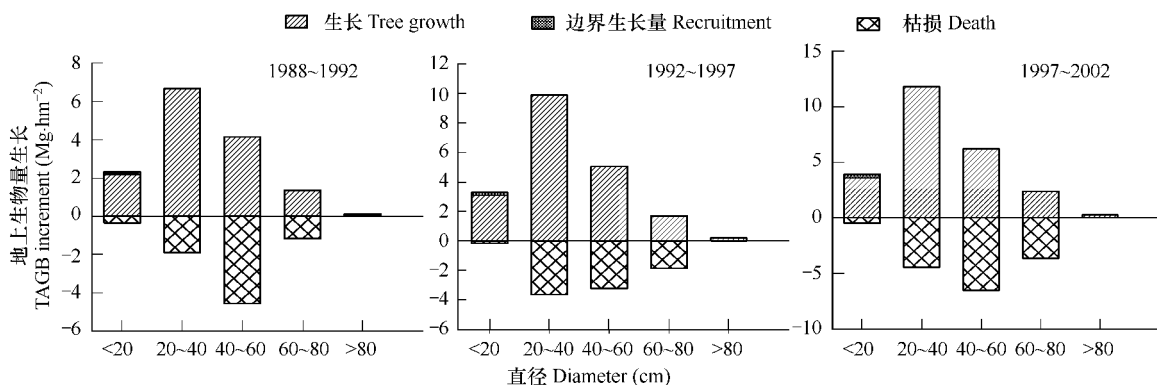


图2 地上部分各径级生物量生长情况

Fig. 2 Increment of TAGB in different DBH classes

从表3可以看出,老龄林株数随直径增大而减少,呈反“J”型分布。各调查期间枯损株数在<20cm 径级最多,其中在1997~2002年期间8cm 和10cm 两个径阶枯损株数最多,分别为10株和13株,占总枯死株数

(70 株)的 32.86%,该调查期间的进界生长株数为 125 株,其中直径为 6~8cm 死亡株数占进界生长株数的 10.4%。从 20~80cm 各径级株数变化小,>80cm 径级株数调查期间未变,株数变化最大是在 <20cm 径级。径级株数和径级生物量变化之间有差异,生物量变化最大位于中间径级,不在小径级。由于生物量与树干胸径(D)和树高(h)关系密切,小径级的株数变化量虽多,但单株生物量小。据 Hoshizaik 推算^[7],一株 $DBH > 100\text{cm}$ 树的生物量是 $DBH = 5 \sim 10\text{cm}$ 树的生物量 10^4 数量级,表明大径级株数变化虽少,但对生物量的影响却很大。

表 3 样地径级株数分布及变化特征表

Table 3 Distribution pattern and change of the tree number in different DBH classes

年份 Year	< 20 cm		20 ~ 40 cm		40 ~ 60 cm		60 ~ 80 cm		> 80 cm	
	现存 Present	枯损(进 界生长) Mortality (Recruitment)	现存 Present	枯损 mortality	现存 Present	枯损 mortality	现存 Present	枯损 mortality	现存 Present	枯损 mortality
1988	271	14 (71)	251	19	92	8	35	1	3	0
1992	286	18 (73)	252	17	93	5	38	1	3	0
1997	298	35 (125)	252	21	101	11	39	3	3	0
2002	323		254							

3.4 地上生物量的时空变化

岷江上游老龄林地上生物量总体表现为增加,但 27 个样地生物量在时间和空间上的变化差异很大,同一样地不同调查间隔期和不同样地在相同调查期间的生物量变化具有很大差异。图 3 可以看出,在研究期间,9 号样地生物量减少最多,为 $-79.06 \text{ Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$,5 号样地生物量增加最大,为 $101.52 \text{ Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$,19 号样地变化量最小,减少了 $-0.71 \text{ Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$,平均增长量为 $(27.311 \pm 15.580) \text{ Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$,样地间生物量在调查期间的变化幅度为 $180.58 \text{ Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。就同一样地而言,在不同调查期间生物量变化也不相同,各调查期间的生物

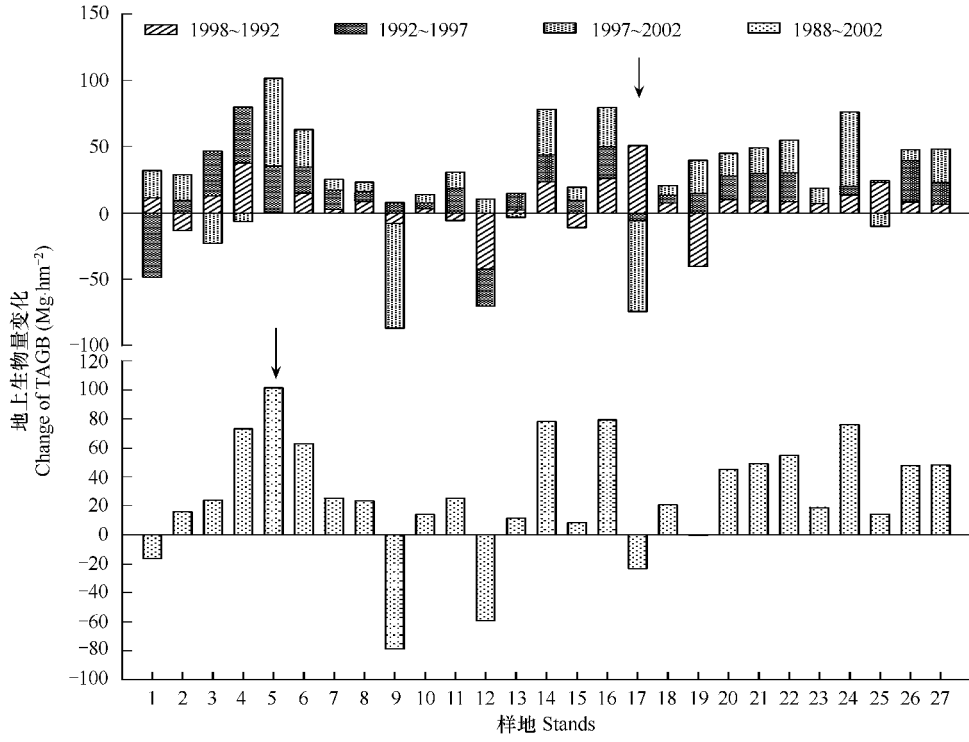


图 3 地上生物量变化的空间差异

Fig. 3 Spatial variation of the above-ground biomass change

量变化差异大,其中 17 号样地 3 次间隔期的生物量增量分别为:50.805、-5.917 $\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 -68.406 $\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$,14a 总的变化量为 -23.815 $\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$,其生物量变化幅度达 119.211 $\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。不同调查期间生物量变化会出现正负差异,有 12 个样地生物量变化在调查间隔期内出现负增长现象,其中 9、12 号和 17 号样地生物量在两次间隔期中,生物量出现负增长现象。说明岷江上游地上生物量在不同空间位置 and 不同调查期间变化不一样,部分样地地上生物量(现存量)在一定时间内可能出现负生长现象。而就一定的空间和时间尺度来说,整体生物量的变化表现出增加,主要原因是与森林地上枯损与生长部分有关。造成这种时空异质性可能原因是,在时间尺度上由于不同调查时期老龄林的枯损量不确定性较大,尤其是大径级树木死亡对生物量动态影响作用,因而往往会造成生长量增量在时间尺度上的变异大。空间上由于不同的海拔、坡向等地形因子影响,也造成了老龄林生物量变化在空间差异很大。

4 结论与讨论

岷江上游亚高山林区老龄林地上生物量在研究期间总体呈现增加趋势,这与许多人对老龄林的碳汇功能方面研究结果相同,即老龄林仍具有固定 CO_2 的作用^[6,8]。研究区内样地保留木地上生物量年变化率平均为 $(4.148 \pm 0.907) \text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,与马明东^[21]等在此区域估算的云杉天然林地上生物量年生产力 4.676 $\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 相接近。但低于冯宗炜等^[25]在新疆吉木对 122a 生的天然云杉林生产力 6.40 $\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,这可能由于该区域的老龄林是以冷杉为主要优势树种的天然暗针叶林,海拔多 3600m 以上的林分,林分质量不高^[28],因而其年生长率较其他地方低。本研究区域地上生物量净增长率为 $(1.930 \pm 1.091) \text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,这与罗辑等^[29]在贡嘎山天然老龄林(年龄 > 100a)中研究各林分地上生物量净初级生产量在 1.389 ~ 12.930 $\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 相一致。但本研究结果与 Hoshizaki 在热带雨林的研究结果有些不同^[7],他研究结果表明样地生物量负增长,主要是由于枯损部分大于生物量增量。本研究表明,岷江上游区域天然老龄林仍具有一定的生产力,呈现碳汇功能。对于老龄林中的灌木层、表层生物量和地下碳动态变化由于本研究没有调查资料,有待今后做进一步定期观测研究,综合分析评价岷江上游区域老龄林生物量及碳动态变化情况。

Jarvis 等^[30,31]认为中幼林和恢复期的森林碳汇潜力明显,而林龄大于 100a 的老龄林通常被认为其碳代谢处于平衡状态,是不重要的碳汇。此结论是在把老龄林假设为同龄纯林和干枝呼吸大于光合积累的情况下得出。异龄老龄林中不同径级生物量构成及其变化,对地上生物量的动态及森林的碳循环有重要影响。老龄林生物量变化不能以人工同龄纯林的模型进行简单估计^[6]。老龄林地上生物量变化是由保留木生长量、进界生长量和枯损量三者之间的关系决定^[7,17]。从岷江上游老龄林各径级生物量变化结果来看,净生长量增加最大的径级是 20 ~ 40cm,其次为 <20cm, >60cm 以上径级最小,40 ~ 60cm 径级地上生物量的净增量在研究期间呈现负增长现象,在 60 ~ 80cm 径级中,其生物量的动态变化量最小,处于一种相对平衡态,这种状态也是许多人运用模型对老龄林的假设平衡态,而实际上的老龄林是多径级分布状态。本次研究大径级(>80cm)没有出现枯损部分,但大径级林木一般年龄较大(>300a),会在一定期间自然死亡,其单株生物量大,可能会对老龄林地上生物量变化产生重大影响^[6,7]。因而对于大径级林木的测定及其死亡对准确估算老龄林地上生物量的动态变化有重要意义。老龄林小径级(<20cm)的更新株数对老龄林生物量增加有一定的贡献,在各调查期间,老龄林在小径级的枯死株数占进界生长株数分别为 19.7%、24.6% 和 28.0%,绝大多数的进界生长株数存活下来,对今后老龄林株数结构调整和生物量的增加有重要作用。

径级生物量动态体现整个林分生物量的动态变化特征。而地上生物量随时间的动态变化直接影响到森林生产力和土壤表层枯落物的分解过程^[4,5]。岷江上游老龄林的年枯损率为 $(2.271 \pm 1.424) \text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,作为老龄林枯落物的一部分,补充到土壤表层或林中有有机质,有利于森林的碳循环,促进林地表层及土壤有机碳的补充。最近研究表明^[9],中国亚热带 400 多年生的季风常绿阔叶林土壤有机质增加 0.61 $\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。说明老龄林枯死部分对土壤有机质补充的重要作用。

老龄林地上生物量的变化表现出一定的时空异质性。部分样地(1 ~ 3、9、12、17 号样地)在不同调查期间,其地上生物量净增量有时增加,有时减少,主要取决于生长量与枯损量的大小。从样地生物量的动态变化

看,岷江上游老龄林生物量的变化与时间没有关联,生物量净增量变化有一定的波动性,不同时间变化差异大,不随时间而有规律变化。老龄林地上生物量在不同时间尺度变化结果不同,正确合理评价老龄林地上生物量的动态变化,不能以短期的观察结果进行时间尺度上推演,要对老龄林地上生物量动态变化的科学估算,应该建立长期的固定观测样地,才能保证数据的科学和有效性。岷江上游老龄林地上生物量也具有空间异质性,不同样地间生物量差别很大,仅仅依靠单个样地来推断某一类型森林的生物量得到的信息精确性较低^[5]。研究发现,生物量的变化不仅是体现数值的大小,而且在研究期间部分地上生长量出现负增长,所以要对该区域进行老龄林生物量的动态估算,要有一定样地作为代表性。Chave 在进行老龄地上生物量研究时,为了减小空间差异,他采用设置面积为 6hm²大样地方法^[5],可以提高估算精度。在一定的空间进行统计抽样设置样地更能满足区域生长量研究的需要,也能提高区域生物量估算精度。所以,只有在区域尺度上进行长期的生物量监测才能科学准确地估算老龄林的生物量变化及其碳动态变化规律。

References:

- [1] Overman J P M, Witte H J L, Saldarriaga J G. Evaluation of regression models for above-ground biomass determination in Amazon rainforest. *Journal of Tropical Ecology*, 1994, 10(2):207—218.
- [2] Dixon R K, Solomon A M, Brown S, *et al.* Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*, 1994, 263:185—190.
- [3] Keeling H C, Phillips O L. The global relationship between forest productivity and biomass. *Global Ecology and Biogeography*, 2007, 16:618—631.
- [4] Kira T. Primary productivity and carbon cycling in a primeval lowland rainforest of Peninsular Malaysia. In: *Tree Crop Physiology* Amsterdam: Elsevier Science. 1987. 99—119.
- [5] Chave J, Condit R, Lao S, *et al.* Spatial and temporal variation of biomass in a tropical forest: results from a large census plot in Panama. *Journal of Ecology*, 2003, 91:240—252.
- [6] Carey E V, Sala A, Keane R, *et al.* Are old forests underestimated as global carbon sinks? *Global Change Biology*, 2001, 7(4):339—344.
- [7] Hoshizaki K, Niiyama K, Kimura K, *et al.* Temporal and spatial variation of forest biomass in relation to stand dynamics in a mature, lowland tropical rainforest, Malaysia. *Ecological Research*, 2004, 19:357—363.
- [8] Malhi Y, Wood D, Baker T R, *et al.* The regional variation of aboveground live biomass in old-growth Amazonian forests. *Global Change Biology*, 2006, 12:1107—1138.
- [9] Zhou G Y, Liu S G, Li Z A, *et al.* Old-growth forests can accumulate carbon in soils. *Science*, 2006, 314:1417.
- [10] Hollinger D Y, Goltz S M, Davidson E A, *et al.* Seasonal patterns and environmental control of carbon dioxide and water vapour exchange in an ecotonal boreal forest. *Global Change Biology*, 1999, 5:891—902.
- [11] Chen J Q, Falk M, Euskirchen E, *et al.* Biophysical controls of carbon flows in three successional Douglas-fir stands based on eddy-covariance measurements. *Tree Physiology*, 2002, 22:169—177.
- [12] Anthoni P M, Unsworth M H, Law B E, *et al.* Seasonal differences in carbon and water vapor exchange in young and old-growth ponderosa pine ecosystems. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2002, 111:203—222.
- [13] Rice A H, Pyle E H, Saleska S R, *et al.* Carbon balance and vegetation dynamics in an old-growth Amazonian forest. *Ecological Applications*, 2004, 14(4):55—71.
- [14] Brown S L, Gillespie A J R, Lugo A E. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science* 1989, 35:881—902.
- [15] Goodale C L, Apps M J, Birdsey R A, *et al.* Forest carbon sinks in the Northern Hemisphere. *Ecological Applications*, 2002, 12(3):891—899.
- [16] Fang J Y, Chen A P, Peng C H, *et al.* Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998. *Science*, 2001, 292:2320—2322.
- [17] Clark D A, Brown S, Kicklighter D W, *et al.* Measuring net primary production in forests: concepts and field methods. *Ecological Applications*, 2001, 11(2):356—370.
- [18] He H, Qiao Y K, Liu Q, *et al.* Dynamics of biomass and stem volume of *Picea asperata* stands in artificial restoration process of subalpine coniferous forest. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(5):748—752.
- [19] Jiang H. A study on the biomass and production of *picea purpurea* forest communities. *Acta Phytocologica Sinica*, 1986, 10(2):146—152.
- [20] Li W H, Luo T X. Productivity patterns and mathematical models of spruce-fir forests in China. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, 17(5):511—518.
- [21] Ma M D, Jiang H, Luo C D, *et al.* Preliminary study of carbon density, net production and carbon stock in natural spruce forests of northwest

- subalpine Sichuan, China. *Journal of Plant Ecology*, 2007, 31(2):305—312.
- [22] Liu S R, Wang J X, Chen L W. Ecology and restoration of sub-alpine ecosystem in western Sichuan, China. *Informatore Botanico Italiano*, 2003, 35(Supplement 1):29—34.
- [23] Segura M, Kanninen M. Allometric models for tree volume and total aboveground biomass in a tropical humid forest in Costa Rica. *Biotropica*, 2005, 37(1):2—8.
- [24] Luo T X, Shi P L, Luo J, *et al.* Distribution patterns of aboveground biomass in Tibetan alpine vegetation transects. *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, 26(6):668—676.
- [25] Feng Z W, Wang X K, Wu G. Biomass and production of forest ecosystem in China. Beijing: Science Press, 1999. 70, 94.
- [26] Shi P L, Zhong Z C, Li X G. A study on the biomass of alder and cypress artificial mixed forest in Sichuan. *Acta Phytocologica Sinica*, 1996, 20(6):524—533.
- [27] Cheng T R, Ma Q Y, Feng Z K, *et al.* Research on forest biomass in Xiaolong Mountains, Gansu Province. *Journal of Beijing Forestry University*, 2007, 29(1):31—36.
- [28] Zhang Y D, Zhao C M, Liu S R. The Influence Factors of Sub-Alpine Forest Restoration in Miyaluo, West Sichuan. *Scientia Silvae Sinicae*, 2005, 41(4):189—193.
- [29] Luo J, Cheng G W, Yang Z, *et al.* Growth dynamics of dominant tree species in dark coniferous forests on Gongga Mountain. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(1):22—26.
- [30] Jarvis P G. Atmospheric carbon dioxide and forests. Series B; Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 1989, 324, 369—392.
- [31] Melillo J M, Prentice I C, Farquhar G D, *et al.* Terrestrial biotic responses to environmental change and feedbacks to climate. In: Houghton J *et al.*, Eds. *Climate Change 1995: the Science of Climate Change*. New York: Cambridge University Press, 1996. 444—481.

参考文献:

- [18] 何海, 乔永康, 刘庆, 等. 亚高山针叶林人工恢复过程中生物量和材积动态研究. *应用生态学报*, 2004, 15(5):748~752.
- [19] 江洪. 紫果云杉天然中龄林分生物量和生产力的研究. *植物生态学与地植物学学报*, 1986, 10(2):146~152.
- [20] 李文华, 罗天祥. 中国云冷杉林生物生产力格局及其数学模型. *生态学报*, 1997, 17(5):511~518.
- [21] 马明东, 江洪, 罗承德, 等. 四川西北部亚高山云杉天然林生态系统碳密度、净生产量和碳贮量的初步研究. *植物生态学报*, 2007, 31(2):305~312.
- [24] 罗天祥, 石培礼, 罗辑, 等. 青藏高原植被样带地上部分生物量的分布格局. *植物生态学报*, 2002, 26(6):668~676.
- [25] 冯宗炜, 王效科, 吴刚. 中国森林生态系统的生物量和生产力. 北京: 科学出版社, 1999. 70, 94.
- [26] 石培礼, 钟章成, 李旭光. 四川桧柏混交林生物量的研究. *植物生态学报*, 1996, 20(6):524~533.
- [27] 程堂仁, 马钦彦, 冯仲科, 等. 甘肃小陇山森林生物量研究. *北京林业大学学报*, 2007, 29(1):31~36.
- [28] 张远东, 赵常明, 刘世荣. 川西米亚罗林区森林恢复的影响因子分析. *林业科学*, 2005, 41(4):189~193.
- [29] 罗辑, 程根伟, 杨忠, 等. 贡嘎山暗针叶林不同林型的优势木生长动态. *植物生态学报*, 2000, 24(1):22~26.