

横断山林区优势林木生长动态与生态参数估计方法

程根伟, 罗辑

(中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

摘 要: 根据对贡嘎山和岷江上游山区森林样地的调查和解析木分析, 作者对横断山亚高山森林区的优势树木的生长速率进行了分类, 采用几种不同公式来表达树木胸径的生长动态, 分析了不同树种的速生时期和生产率变化水平。还研究了基于不同函数形式下的林窗模型生长参数的解析求解方法, 提出了计算森林建群树种的生长参数的新公式。这些结果对于推算林区生物量和木材生产率提供了理论依据, 并解决了森林生态系统模拟中关键参数确定的问题。

关键词: 横断山区; 森林生长; 参数计算

中图分类号: Q945.3 **文献标识码:** A

青藏高原东缘是以横断山区为中心的高山峡谷区, 也是中国西南森林主要分布带, 包括西藏东部、川西和滇西北山区。横断山区是亚高山原始森林分布的主体, 也是西南大江河的水源涵养中心。由于山区地势起伏巨大, 生物多样性高, 自然和生态条件复杂多变, 已经成为研究森林生态与环境变化的重要区域。为了解决西南森林生物量和生产力评价问题, 进一步模拟森林群落的变化演替, 我们在以贡嘎山为中心的亚高山林区进行了森林样地调查分析, 结合在周边地区大量的调查成果, 对本区的主要优势林木的生长状态和生长规律做了探讨。

对于森林中的乔木生长特征, 在我国东北林区进行了系统深入的工作, 王战、刘君然、绍国凡等对东北松林的生态学特征作了系统的研究^[1,2]。李承彪等对川西云冷杉的生长规律进行了调查统计^[3]。彭继伟、罗辑对贡嘎山冷杉林生长动态进行了定位观测和解析木调查^[4,5]。这些研究都为青藏高原东缘亚高山优势林木的生长特征研究奠定了基础。本文试图在总结这些成果的基础上, 将森林的调查成果应用在森林演替模型参数估计方面。

1 自然概况

以贡嘎山为中心的横断山呈高山峡谷地形, 包括岷江、大渡河、雅砻江、金沙江中游, 山体主要为南

北走向。受山区地形和印度洋气团影响, 降水比较丰富, 但不同坡向和高度的水热状况差异很大, 森林的垂直分带性和坡向差异明显。

在大雪山中部的贡嘎山区, 针阔叶混交林分布于海拔 2 500 m~2 800 m, 其年均气温在 5℃~8℃, 年降水量 1 500 mm~1 800 mm 左右, 西北坡降水少于东南坡。暗针叶林带集中分布于 2 800 m~3 600 m, 主要以川西云杉 (*Picea balfouriana*) 和峨眉冷杉 (*Abies fabri*) 为主, 其它为麦吊杉 (*Picea brachytyla*)、鳞皮冷杉 (*Abies squamata*) 等。岷江上游的秦岭南坡也是主要的森林分布区, 其地理和气候环境与贡嘎山区相似, 主要的森林树种也与其相同。

2 研究方法

我们在贡嘎山东西坡不同海拔高度上布置了 16 个森林观测样地, 其面积在 0.1 hm²~0.5 hm² 不等。调查中将样地内的树木按树种分类, 选择优势林木作树干解析(彭继伟, 罗辑^[4-6])。测量分析各优势木的测树因子(树高 H 、基径 D 、胸径 DBH 、材积 V 等), 并将测树因子与生长期 t (树龄) 的变化关系用指数函数、幂函数和逻辑斯谛 (Logistic) 函数作相关拟合, 除了所调查的样地以外, 还对其他研究人员在本区的工作进行了归纳综合^[7,8], 以便更广泛地掌握各类森林群落的生长动态。

收稿日期: 2002-03-05。

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向性项目(KZCX2-SW-319)和国家自然科学基金重点项目(39930130)资助。

作者简介: 程根伟(1956-), 男, 博士, 研究员, 1982年毕业于成都科技大学, 主要从事水文学和森林生态研究。

©1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

全新世以来贡嘎山区发生了多次冰川进退过程^[9], 在近千年以来主要呈现冰川退缩状态。在退缩迹地上形成森林的不同时期群落结构序列。森林的这种自然分布格局代表了天然演替更新的不同阶段, 可以通过林窗模型进行动态模拟。森林演替模拟的最重要参数就是各树种的生长速率, 它不但是决定群落生产力和生物量的关键参数, 也是各树种能否取得竞争优势的主要生物学指标, 我们在生长函数的分析基础上研究了模型生长参数的估计方法。

3 优势树木胸径生长动态

表征树木的大小和生物量的指标很多, 比如树高、胸径、基径、叶量、叶面积指数、材积、生物量等。但是对于特定的树种来说, 树木胸径 *DBH* 是最重要的指标, 其他指标都可以与 *DBH* 建立比较固定的关系, 因此可以只用 *DBH* 参数及其变化来表示树木或群落的状态, 用 *DBH* 的变化速率来表示树木的生长快慢。通过对不同海拔高度(2 500 m ~ 3 600 m)的云冷杉树干的解析木分析, 测量各年轮的宽度, 得到

其胸径的生长变化动态。对于生长在 2 700 m ~ 3 600 m 的峨眉冷杉, 其基本特征是生长速率呈上凸型变化(图 1), 树龄在 20a 以前的幼龄阶段生长缓慢, 在 40 a ~ 50 a 左右达到生长最快速时期, 大约在 120a 左右, 其生长速率约是最大生长率的一半, 此后进入生长缓慢时期。在没有病虫和其它灾害的情况下, 可以生长到 150 a ~ 180 a, 之后进入老年时期, 生长率很低。对不同海拔上的生长对比发现, 低海拔的林地树木生长率要高于高海拔地区, 而且最大生长率的时间推后, 说明在较好的生境状态下, 冷杉的生长优势可以得到更长久的保持。

贡嘎山区的麦吊杉和鳞皮冷杉代表的生长特性与峨眉冷杉不同(图 2), 其中麦吊杉的胸径生长高峰不突出, 在成年期的生长量保持在相近的水平, 而且波动很大。而鳞皮冷杉正相反, 在 30 a ~ 50 a 达到很高的 *DBH* 生长速率(10 mm/a), 之后即开始下降, 在 100 年左右达到平稳生长, 年生长量在 1 mm ~ 2 mm 之间。

通过对横断山各样地的树木测量数据的分析, 得到本区优势树种的 *DBH* 生长函数(表 1)。

表 1 横断山区森林优势树种生长函数
Table 1 growth function of dominant species for Hengduan mountain forest

序号	树种	胸径生长公式 ¹⁾	适应条件	相关系数
1	峨眉冷杉 <i>Abies fabri</i>	$D=0.544 t+0.8726$ $D=8.895+0.6685t-14.77 \lg t$	$t < 42$	0.998
2	长苞冷杉 <i>Abies georgei</i>	$D=-28.14+0.057t+23.867 \lg t$ $D=-36.69+0.0327t+28.32 \lg t$	$t > 42$ $t < 89$	
3	鳞皮冷杉 <i>Abies squamata</i>	$D=-5.76+0.22t+3.89 \lg t$	$t < 89$	0.98
4	丽江云杉 <i>Picea likiangensis</i>	$D=-8.6346+0.1586t+7.84 \lg t$ $D=0.581+0.291t-2.643 \lg t$	$t < 62$	0.99
5	麦吊杉 <i>Picea natchiyila</i>	$D=-64.69+0.07573t+41.2 \lg t$	$t < 62$	0.99
6	川西云杉 <i>Picea balfouriana</i>	$D=-12.43+0.0934t+12.23 \lg t-11.1+0.137t+15.788 \lg t$		0.99
7	华山松 <i>Pinus armandii</i>	$D=-11.1+0.137t+15.8 \lg t$ $D=-4.753+0.3155t+4.447 \lg t$	$t < 46$	0.98
8	高山松 <i>Pinus densata</i>	$D=-35.72+0.00573t+31.64 \lg t$ $D=-7.647+0.20t+8.744 \lg t$	$t > 46$ $t < 31$	
9	糙皮桦 <i>Betula utilis</i>	$D=-3.59+0.1065t+8.012 \lg t$	$t < 31$	
10	青冈树 <i>Cyclobalanopsis</i>	$D=2.988+0.313t+0.396 \lg t$		0.98
11	杨树 <i>Populus</i>	$D=-5.82+0.138t+9.65 \lg t$		0.97

1) 生长公式取自《四川森林生态研究》和《贡嘎山高山生态系统研究》及野外调查

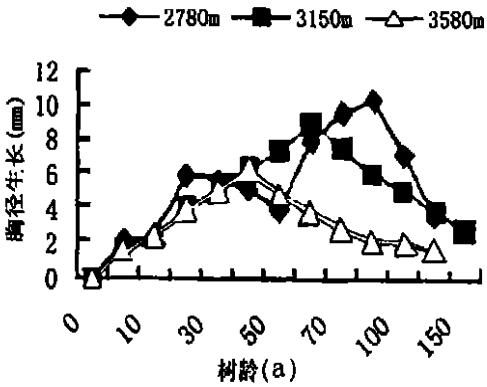


图 1 峨眉冷杉胸径生长曲线
Fig. 1 DBH growth of *Abies fabri*

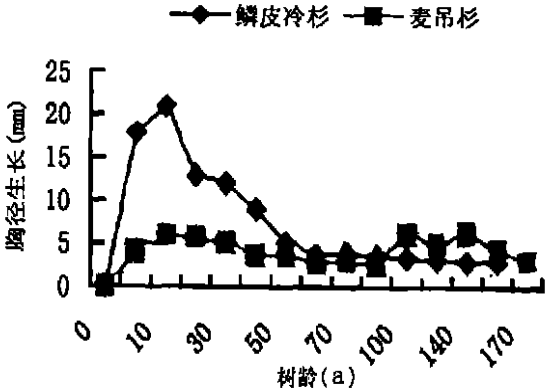


图 2 鳞皮冷杉胸径生长曲线
Fig. 2 DBH growth of *Abies squamata*

以上表 1 的关系基本上反映了中国西南高山峡谷区优势树种的生长动态特征。

4 胸径生长模拟

为了更深入地揭示本区域森林变化特征, 我们采用了森林的林窗模型对亚高山森林群落进行模拟仿真。在森林林窗模型中, 关键是对树木生长的模拟。假定树木的体积是由胸径 D 的平方与树高 H 之积成正比, 而每年的体积生长速度与叶面积 La (表示光合作用总量) 成正比, 而与胸径和树高 (反映呼吸消耗) 成反比, 即下面公式表示

$$d(D^2 H) / dt = r \cdot La \cdot (1 - D \cdot H / D_{max} \cdot H_{max})$$

式中 r 为反映生长速率的系数, 并且假定叶面积 $La \sim D^2$

则可以推出在最优环境下, 树木的胸径 DBH 的最优生长方程为

$$\left(\frac{dD}{dt} \right)_{opt} = G \cdot D \cdot \frac{1 - \frac{D \cdot H}{D_{max} \cdot H_{max}}}{260 + 3260 + 3b_2 D - 4b_3 D^2}$$

式中 G 的含义见下文。

模型结构是对所模拟的对象基本物理(生理)机制和一般规律的概化, 而具体对象的客观属性是由模型的参数来规定的。我国过去的研究工作集中在中国东北的森林动态模拟(延晓冬), 并获得适用于东北林区的林窗模型参数^[10], 但西南地区气候、土壤和物种与东北完全不同。东北森林系统参数不能用于西南林地研究。为此我们结合川西森林区调查, 对森林演替模型的生长参数做了较深入的探讨。

5 推求生长参数的新方法

林窗模型中的生长参数 G 是影响群落演变的关键参数, 但是它的生物学意义不太清楚, 很难从树木的野外调查中推算。过去主要采用三种方式计算, 其一是假定一个 G 值, 采用生长模型公式作积分, 得到树木胸径的变化过程, 与实际调查树木胸径生长过程作对比, 反复修改 G 来拟合实际生长过程确定 G 。这种方法非常复杂, 计算量也很大。第二种方法是假定 G 值, 利用模型作无扩散种进入林分的模拟试验, 对林分进行年积分, 能够使林分积分最接近实际林分与胸径结构的参数为所求。这两种方法在实际使用中都不够理想。Botkin^[11, 12] 建议了一种不用试算的生长参数公式, 但是它只含有最大树高和最大树龄两个特征参数, 不能利用各树种的实际生长调查数据, 难以反映复杂的情况。为了简化生长参数的计算, 解决野外调查的树木生长公式用于模型计算的问题, 这里提出一种新的参数推算方法。

根据森林区代表树种的解析木调查分析, 可以得到各种树木的胸径 DBH 随时间 t 变化的生长函数

$$DBH = F_1(t)$$

式中 t 为生长年数。

树高采用模型的标准公式

$$H = b_1 + b_2 \cdot DBH - b_3 \cdot DBH^2 = F_2(t)$$

式中 $b_1 = 130$ (cm, 胸高)

$$b_2 = 2(H_{max} - b_1) / D_{max}$$

$$b_3 = (H_{max} - b_1) / D_{max}^2$$

由于树木的生长方程是

$$\left(\frac{dD}{dt}\right)_{opt} = G \cdot D \frac{1 - \frac{D \cdot H}{D_{\max} \cdot H_{\max}}}{260 + 3260 + 3b_2D - 4b_3D^2}$$
$$= G \cdot \varphi(D, H)$$

又 $\because \frac{dD}{dt} = F_1'(t)$

$$\therefore G = \frac{F_1'(t)}{\varphi(D, H)}$$

将 $D(t)$, $H(t)$ 的关系代入 (D, H) 中, 得到

$$G = \frac{F_1(t)}{\varphi(F_1(t), F_2(t))}$$

$$= \Psi(t)$$

由此可以对不同的时段 t 计算出 G 的值。如果考虑到环境的胁迫作用函数 $FE(E_s)$, 修正后的公式应为

$$G = \Psi(t) / FE(E_s)$$

按照以上公式计算各树木的不同时期的胸径 D 、树高 H 、 $F_1(t)$ 、 $F_1'(t)$ 及 $\varphi(t)$, 并选择多年平均环境胁迫函数的数值 ($FE(E_s) = 0.50$), 即可以算出 G 的不同生长阶段数值。对主要生长期取 G 的平均值作为模型的参数, 按这种方法计算的过程和结果如表 2。

表 2 西南林区主要树种生长参数计算

Table 2 the growth parameters G of dominant trees in forest region of southwestern China

树 种	参 数					
	$t(a)$	$D(cm)$	$H(cm)$	F_1'	φ	G
峨眉冷杉	50.000	16.524	1173.717	0.288	0.005	120.3
长苞冷杉	50.000	15.187	1356.553	0.263	0.004	139.3
鳞皮冷杉	50.000	12.601	833.387	0.270	0.005	101.6
丽江冷杉	50.000	12.613	992.230	0.227	0.004	102.8
麦吊杉	50.000	10.641	860.913	0.268	0.004	123.4
川西云杉	50.000	13.015	872.023	0.200	0.005	79.4
华山松	50.000	22.589	1578.583	0.275	0.004	136.0
高山松	50.000	18.312	1097.273	0.281	0.005	109.8
糙皮桦	50.000	15.345	1508.033	0.176	0.003	111.5
青冈树	50.000	19.311	1326.068	0.316	0.003	289.4
杨树	50.000	17.472	792.325	0.222	0.006	78.2

6 模型其它参数

贡嘎山森林演替模型筛选了四川西部有代表性的 24 个主要乔木和灌木树种, 可以代表从海拔 1 800 m 到 3 600 m 高度分布的主要建群树种。通过对贡嘎山东坡海拔 3 000 m 气象站的观测记录统计, 得到该处的多年月平均气温和降水量及其均方

差, 它们可以用于代表 3 000 m 林区的气候条件。为了便于对不同高度的森林模拟, 采用月气温和降水的梯度关系来计算不同海拔高度林地的气象数据(表 3)。

其余的模型参数包括模拟地块的经纬度、坡度、土壤厚度、田间持水量、树木凋落物的 N/C 含量、凋落物腐败的速率等等, 见表 4。

表 3 贡嘎山东坡的气候统计参数

Table 3 The climate statistic parameters of the eastern slope of Mt. Gongga

参数	月 统 计											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
气温均值(℃)	-5.1	-4.2	-0.6	3.6	7.5	10.6	12.4	12.2	8.9	4.5	0.7	-3.0
气温方差(℃)	0.95	1.44	1.07	8.89	0.68	0.50	0.44	0.50	0.71	0.53	1.08	0.77
降水均值(mm)	28.1	43.2	91.9	149	220.2	293.4	347.5	277.8	237.2	158.8	53.3	25.5
降水方差(mm)	6.5	25.9	23.2	39.0	44.3	47.8	36.0	47.3	46.0	40.7	22.5	6.3

表 4 模型环境综合参数
Table 4 Environmental parameters of the model

斑块面积 m ²	地理纬度 (°)	海拔高度 m	地面坡度 (°)	田间持水 %	土层厚度 cm	土壤容重 v/v	泥石流频 率%	火灾风暴 频率%	温度梯度 ℃/hm	降水梯度 mm/hm
500	29	3000	15	25	40	1.5	2	0.01	0.5	67
凋落物 N 含量(g/g)				凋落物 C 含量(g/g)				腐殖质 矿化率	降水固 N 量(ppm)	N 淋滤 率
凋叶	凋枝	凋干	凋根	凋叶	凋枝	凋干	凋根			
0.1	0.09	0.03	0.03	0.4	0.5	0.6	0.6	0.5	0.005	0.1

利用以上优势树木生长参数在林窗模型中，模拟的森林生长动态、群落结构和树种演替过程比较符合当地森林的实际情况(参见图3)。

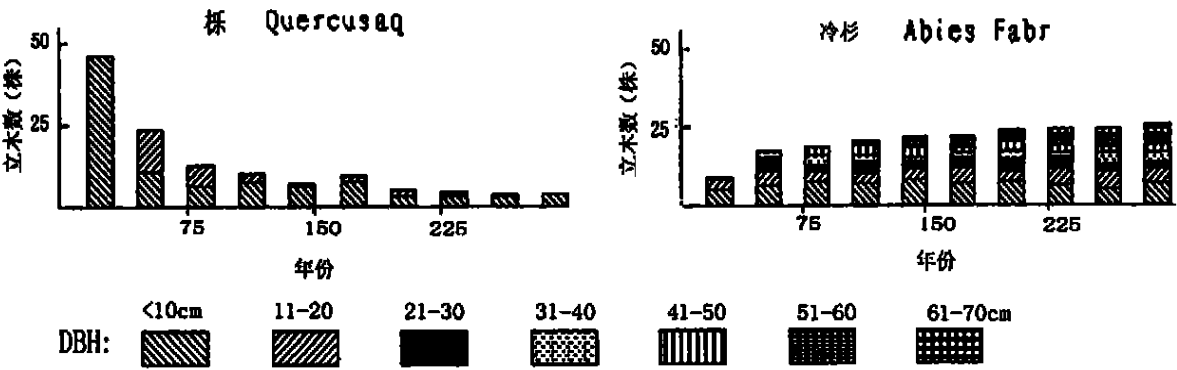


图 3 贡嘎山 3000m 暗叶林(栎和冷杉)演替过程

Fig. 3 The modelled succession processes of dark coniferous woods(Quercus and Abies fabri) in 3000m of Gongga mountain

7 结果讨论

西南山区山高谷深，森林的垂直分带特征显著，不同高度上分布的优势林木差异很大。本文分析了其中主要的建群树种的生长动态，其中暗针叶树的生长速率在幼龄阶段很低，进入 30 a~50 a 之后为高速生长时期，大约在 100a 以后成为成熟林，生长开始变得缓慢，直到 150a~180a 后进入老龄期。研究还发现针叶树的生长速率还受海拔高程影响，中低海拔的生长状态好于高海拔地带，根据不同地域森林样地解析木测量分析，还得到了西南林区主要树种生长函数。

利用野外调查得到的优势树木生长函数，还可以解决林窗模型中关键的生长参数的估计问题，本文推导出了模型生长参数计算的理论公式，它能够从调查得到的生长函数中提取较多的信息，改善了模型参数估计的可靠性，对于合理计算西南林区生物量和森林生产率提供了重要依据。

参考文献:

[1] 李克志. 小兴安岭五营林区原始红松林年龄结构的研究[J]. 林业科学, 1987, 23(2): 214~220.

[2] 邵国凡. 阔叶红松林主要树种的温湿指数和最优生长方程[J]. 林业科学, 1991, 27(1): 21~27.

[3] 陈起忠, 李承彪. 四川森林生长动态的研究[A]. 见: 李承彪. 四川森林生态研究[C]. 成都: 四川科学技术出版社, 1990. 427~447.

[4] 彭继伟, 高生淮. 峨眉冷杉天然林生长模型探讨[A]. 见: 陈富斌. 贡嘎山高山生态环境研究(第一集)[C]. 成都: 成都科技大学出版社, 1993. 87~93.

[5] 罗辑. 海螺沟冰川退缩地和泥石流扇形地植被原生演替的研究[A]. 见: 陈富斌. 贡嘎山高山生态环境研究(第二集)[C]. 北京: 气象出版社, 1998. 32~37.

[6] 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[J]. 植物生态学报, 2000, 24(1): 22~26.

[7] 吴宁. 贡嘎山冷杉种群的生态学特点[A]. 见: 陈富斌, 罗辑. 贡嘎山高山生态环境研究(第二卷)[C]. 北京: 气象出版社, 1996. 16~22.

[8] 吴宁. 贡嘎山东坡亚高山针叶林的林窗动态研究[J]. 植物生态学报, 1999, 23(3): 228~237.

- [9] Zhong Xianghao, Zhang Wenjing and Luo Ji, The characteristics of the mountain ecosystem and environment in the Gongga mountain region. *Ambio*, **28**(8): 1999, 648~654.
- [10] 延晓冬, 赵士洞. 长白山森林生态系统的生长演替模型的研究 [J]. 生态学报, 1995, **14**(B): 12~21.
- [11] Botkin, D. B., Janak, J. F., et al., Some Ecological Consequences of a Computer Model of Forest Growth, *J. Of Ecol.*, 1972, **60**: 849~872.
- [12] Botkin, D. B., Forest Dynamics: An Ecological Model, Oxford Uni. Press, Oxford, 1993.

Growth Dynamic and Ecological Parameters of Dominant Trees for Sub-alpine Forest in Hengduan Mountain System

CHENG Gen-wei and LUO Ji

(*Institute of Mountain Hazards & Environment, CAS, Chengdu, 610041 China*)

Abstract: Based on the forest plot investigation and tree's stem measurement for the eastern Tibet plateau of southwestern China, the growth rate for dominant trees in the forest area has been analyzed. Different types of formulas are used to fit the relationship of stem diameter DBH growing with tree's age. These analyses show that there exist the rapid growth phase and high productivity for different tree species. The growth function of coniferous trees got from the field investigation can be used to the forest gap model that is applied to simulate the forest succession. A new method is proposed by the authors to estimate the tree's growth parameter of forest gap model. This method can draw more information from the field investigation data and is more rational in parameter estimation of dominant trees in region of southwestern China. These growth function and succession parameters are fundamental for estimating the biomass and wood productivity of forest, and will largely improve the simulated results of forest succession by forest gap model.

Key words: eastern Tibet Plateau; tree's growth dynamic; model parameter estimation