

海南岛热带天然次生林生长动态研究

孟京辉¹, 陆元昌¹, 王懿祥^{1,2}, 刘刚^{1,3}

(1. 中国林业科学研究院资源信息研究所, 北京 100091; 2. 浙江林学院环境科技学院, 浙江临安 311300;
3. 华中农业大学园艺林学学院, 湖北武汉 430070)

摘要: 本文对两类处于不同演替阶段的天然次生林, 从直径生长、胸高断面积生长、材积生长、林木死亡率等方面进行了对比分析。研究表明: 随着演替的进程, 天然次生林直径生长、胸高断面生长和材积生长呈现下降趋势, 林木死亡率也呈现明显的下降趋势, 其主要原因是, 在演替的早期阶段, 速生喜光先锋种在林分中占据较高比例, 进而林分表现出较高的死亡率和较高的生长力, 但是随着演替的进行, 喜光先锋速生树种逐步被耐荫的顶级或亚顶级树种所取代, 进而表现出低生长和低的死亡率。

关键词: 森林动态; 直径生长; 胸高断面积生长; 材积生长; 林木死亡率; 速生喜光先锋树种

中图分类号: S758.5

文献标识码: A

Study on Growth Dynamics of Tropical Secondary Natural Forest on Hainan Island

MENG Jing-hui¹, LU Yuan-chang¹, WANG Yi-xiang^{1,2}, LIU Gang^{1,3}

(1. Institute of Forest Resource Information Techniques, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;
2. School of Environmental Technology, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China;
3. College of Horticulture and Forestry Science, Huazhong Agricultural University, Wuhan 4300702, Hubei, China)

Abstract: Forest dynamics is an important theoretical base for making forest management plan. In order to know the forest growth dynamics to support the local forest management, two types of tropical secondary forest of different succession serial were studied in terms of diameter growth, basal area growth, stand volume growth and stem mortality. The result showed that with the succession progress, the growth of basal area, diameter and stem volume indicated a declining pattern and so was the stem mortality. The reason for this phenomenon is that in the early succession stage, the pioneer tree species constituted very high proportion, hence showed the high mortality and growth rate, but with the succession process, the pioneer tree was replaced by the climax or sub-climax tree species which caused the low growth rate and mortality. Understanding the dynamics of the secondary forest is helpful to the sustainable forest management.

Key words: forest dynamics; basal area growth; stand volume growth; stem mortality; pioneer tree species

热带天然林作为重要的陆地生态系统, 发挥着保持水土、涵养水源、防风固沙、保护生物多样性等重要的生态功能^[1]。但是由于商业采伐、刀耕火种、人类聚集地的扩张等因素, 热带天然林遭受了巨大的破坏, 退化为天然次生林^[2-5]。截至 2006 年底,

海南省天然次生林面积达 65.9 万 hm^2 , 蓄积量 5 988.5 万 m^3 , 这些天然林其林分质量差且发挥的生态效益都不理想^[6-8], 因此经营好天然次生林对海南林业建设具有重要的意义。

国内已经有很多学者对海南次生林进行了研究,

收稿日期: 2009-06-28

基金项目: 国家自然科学基金课题“热带天然次生林近自然经营基础研究(30671679)”和国家“十一、五”科技支撑计划“天然林区人工林近自然化改造技术”专题(2006BAD03A04-03)

作者简介: 孟京辉(1980—), 男, 河北保定人, 在读博士生。

邓福英等^[9]对海南岛热带山地雨林天然次生林功能相似的物种划分为不同功能群,为热带次生林的生态研究提供新的途径。丁易等^[10]对海南岛热带低地雨林刀耕火种弃耕地恢复过程中落叶树种的变化进行了研究,研究表明在海南岛热带低地雨林刀耕火种后的次生演替和自然恢复过程中,落叶物种比例及其密度随恢复过程而发生相应的变化,在一定的恢复时期内呈现一定的季雨林群落特征。臧润国等^[11]对废弃集采道的三个不同位置的次生林进行了比较研究,结果表明,集采道上的天然次生林的物种组成和林分结构要明显不同于集采道坡上和坡下的林分。

本文对两个处于不同演替阶段的天然次生林生长动态进行对比研究,探讨不同演替阶段次生林的生长动态规律,旨在为海南天然次生林近自然经营提供依据。

1 研究地区概况

本研究区域位于海南岛白沙县(18°56' ~ 19°29' N, 109°02' ~ 109°42' E),东临琼海,西接昌江市,北抵儋州市,南临乐东市。面积约为2 117.73 km²,境内41.9%为山地,其中海南最高山鹦歌岭位于该县南部。海南最大的河流南渡河的源头流经白沙。白沙属于热带湿润季风性气候,年降水量在1 800 ~ 2 400 mm之间,并且70% ~ 80%的降水集中在5—10月。年平均气温21.9 ~ 23.4℃,最高温度35 ~ 37℃,最低温度5 ~ 6℃。土壤类型以砖红壤和山地黄壤为主。

2 数据和方法

2.1 林分状况与样地布设

本研究的两类天然次生林都是在早期的刀耕火种的废弃农用地上更新而来的。其中,早期天然次生林(SF1)为15年左右,树种56种属于27个科,就林木株数而言,位于前三位的科为:大戟科(Euphorbiaceae, 37.48%),藤黄科(Guttiferae, 9.03%),壳斗科(Fagaceae, 7.77%)。中平(*Macaranga denticulata* (Bl.) Muell. Arg.)在此林分中占据主导地位,其重要值占总重要值的21.07%。较老的天然次生林(SF2)为30年左右,树种42种属于22个科,就林木株数而言,前三科分别为:金缕梅科(Hamamelidaceae, 30.01%),樟科(Lauraceae, 17.43%),大戟科(Euphorbiaceae, 12.00%)。枫香(*Liquidambar formosana* Hance)在此林分中占据主导地位,重要值为总值的30.02%。

在两类不同时期的退化天然次生林中,采用典型抽样的方法,布设永久定位观测样地,在每种森林类型中分别设立4块30 m × 30 m方形乔木调查样地。在每一个方形乔木样地中,沿样地的一条对角线等距离建立3个5 m × 5 m的更新调查样方。在乔木调查样地中对所有胸径大于5 cm的乔木进行每木检尺,记录树高,胸径,起源,干材质量等信息。在更新调查样方中,记录幼苗幼树的地径,苗高,并编号挂牌跟踪。对于乔木每两年复测1次,幼苗幼树则每年复测1次。

2.2 林分生长动态分析方法

2.2.1 胸径生长动态 本研究的起测径阶和径阶距都为5 cm。根据间隔期 n 年的固定样地复测调查数据,各株树木的胸径的定期平均生长量可通过下面的公式算出:

$$I_d = (d_2 - d_1) / n$$

这里 I_d 指直径年平均生长量, d_1 指调查初期的胸径, d_2 则是末期胸径, n 指两次调查间隔的年数。

直径年平均生长量和径阶的关系采用Freese方程进行拟合^[12-13],方程如下:

$$I_d = e^{[A+B \cdot \ln d + C \cdot d]}$$

其中 d 代表直径, A 、 B 、 C 为参数。

两类不同天然次生林的胸径年平均生长量,采用协方差(COANOVA)进行对比分析^[14],2004年的直径作为协变量。

2.2.2 林分株数、胸高断面积、蓄积生长动态 单位面积株数是描述和模拟林分生长和动态的一个基本参数。调查初期和末期的株数之间的关系如下:一般情况下, $N_2 = N_1 - N_m$;对于起测径阶: $N_2 = N_1 - N_m + N_{ing}$ 。其中 N_1 和 N_2 是调查初期和期末的径阶林木株数, N_m 是两次调查期间林木死亡的株数, N_{ing} 是复测时的进界木株数。

林分胸高断面积动态的基本关系是: $B_2 = B_1 + B_i - B_m$,而对于起测径阶是: $B_2 = B_1 + B_i - B_m + B_{ing}$,这里 B_1 和 B_2 是调查初期和期末断面积, B_i 、 B_m 、 B_{ing} 分别为胸高断面积的进级生长、死亡量和进界生长。

林分蓄积生长的动态变化与胸高断面积变化类似,其一般关系式: $V_2 = V_1 + V_i - V_m$,而对于第一径阶则是: $V_2 = V_1 + V_i - V_m + V_{ing}$,这里 V_1 和 V_2 是调查初期和期末活立木总蓄积量, V_i 、 V_m 、 V_{ing} 分别为材积的进级生长、枯死量和进界生长。

各项数据的计算针对单株立木进行,材积公式为:

$$V = g \times h \times f$$

其中 g 为每株树的胸高断面积, h 为树高, f 为形数。由于热带林树种组成复杂而缺少针对具体树种的形数基础研究成果, 世界各地根据经验在热带林中形数不区分树种, 对活立木蓄积量计算时统一取值为 $0.5^{[2]}$ 。

3 结果与分析

3.1 胸径生长动态

图 1 直观地显示出, 15 年的次生林 (SF1) 的直径生长量的分布范围要比 30 年 (SF2) 的次生林广, 30 年的次生林的直径生长量, 除去个别的少数林木表现出较高生长外, 大都分布在 $0 \sim 1.5$ cm 之间。相比而言, 15 年的次生林的直径生长量则分布在 $0 \sim 4.0$ cm 范围之间。同时如表 1 所示, 无论是 15 年的次生林还是 30 年的次生林, 大多数林木的年生长量集中在 $0.1 \sim 0.3$ cm, 其中 15 年的次生林有

298 株, 占林木总数的 23.58%, 30 年的次生林中有 614 株, 占林木总数的 37.12%。随着年生长量的增加, 林木株数呈现下降的趋势。

对每个径阶所有林木的年生长量求取均值, 得到各径阶林木直径年平均生长量, 利用 Freese 方程对不同径阶的直径年平均生长量进行拟合, 取得较好的拟合效果, 对于 15 年的次生林, 其决定系数为 0.823, 对于 30 年的次生林, 其决定系数为 0.881。15 年的次生林在直径 22.5 cm 处, 年生长达到最大为 0.79 cm, 30 年的次生林在直径为 17.5 cm 处, 年生长量达到最大值为 0.4 cm。15 年的次生林的年平均最大生长量, 大约是 30 年的次生林的 2 倍。图 2 同时表明, 15 年的次生林的直径年平均生长量, 无论在哪一个径阶都明显高于 30 年的次生林的年平均生长量, 协方差分析 ($F_{1, 11} = 27.181, P < 0.001$) 同时也有力地证明了这一规律。

表 1 SF1 和 SF2 两年调查期间对应胸径生长的径阶株数分布

项目	I_d 等级 / (cm · a ⁻¹)	径阶株数分布 / (株 · hm ⁻²)							总计
		5 ~ 10 cm	10 ~ 15 cm	15 ~ 20 cm	20 ~ 25 cm	25 ~ 30 cm	30 ~ 35 cm	> 35 cm	
SF1	<0.1	169	66	26	11	1			273
	0.1 ~ 0.3	202	70	20	4	1	1		298
	0.3 ~ 0.5	145	57	25	3	2	2	1	235
	0.5 ~ 0.7	112	41	17	5	2		1	178
	0.7 ~ 0.9	66	26	15	5	2			114
	0.9 ~ 1.1	30	18	12	5	1	1		67
	1.1 ~ 1.3	18	12	9	3	2			44
	1.3 ~ 1.5	11	4	5	3				23
	1.5 ~ 1.7	6	4	3	2		1		16
	1.7 ~ 1.9	1		2	1				4
	1.9 ~ 2.1	1		1		1			3
	2.1 ~ 2.3	1		1				1	3
	2.3 ~ 2.5								
2.5 ~ 2.8	1	2	1	1		1		6	
(总计)		763	300	137	43	12	6	3	1 264
SF2	<0.1	319	75	19	6		3	3	425
	0.1 ~ 0.3	394	139	47	14	3	6	11	614
	0.3 ~ 0.5	225	81	25	11	11			353
	0.5 ~ 0.7	64	25	22	6	6		3	126
	0.7 ~ 0.9	25	11	8	8				52
	0.9 ~ 1.1	11	14	6					31
	1.1 ~ 1.3	11	6	6	3			3	29
	1.3 ~ 1.5	3							3
	1.5 ~ 1.7	3							3
	1.7 ~ 1.9	3	3						6
	1.9 ~ 2.1	3							3
	2.1 ~ 2.3	3							3
	2.3 ~ 2.5	3							3
2.5 ~ 2.7	3							3	
(总计)		1 070	354	133	48	20	9	20	1 654

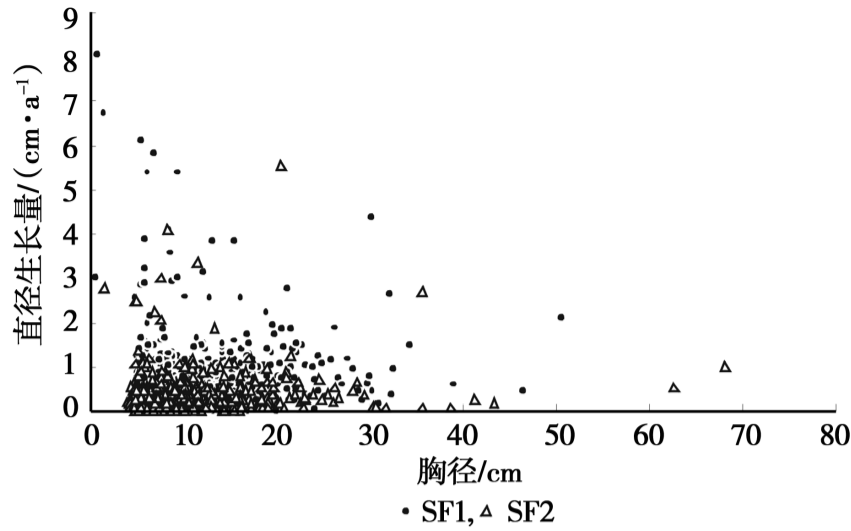


图 1 SF1 和 SF2 树木年平均直径生长量

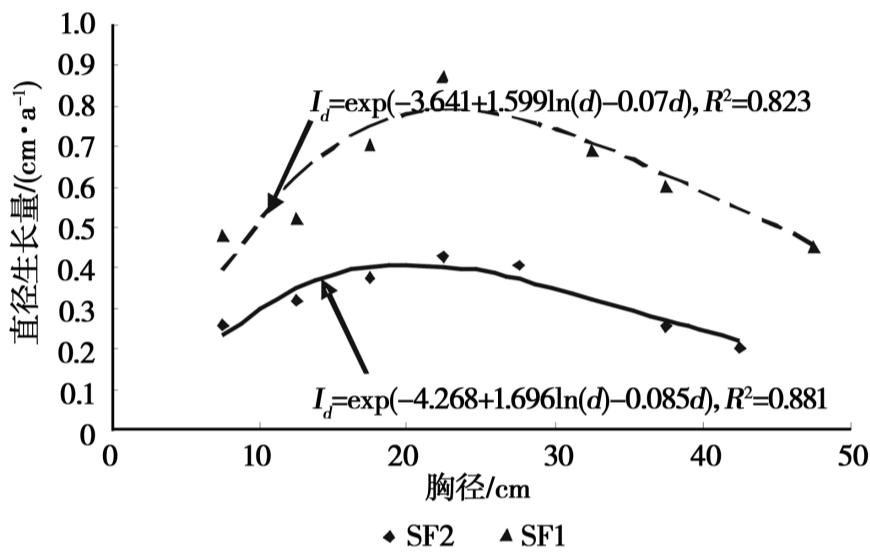


图 2 SF1 和 SF2 树木年平均直径生长量 Freese 方程拟合曲线

3.2 林木株数生长动态

从表 2 可知, 15 年的次生林的林木株数, 从初期 1 524 株减少到末期的 1 388 株, 减少了 136 株, 这主要是由于进界木的数量小于枯死木。枯死木主要集中在小径阶, 随着径阶的增加成倍数递减, 在 5 cm 径阶, 枯死木为 140 株, 占总枯死木株数的 53.23%。30 年的次生林的林木株数, 从最初的 1 959 株增加到期末的 2 000 株, 增加 41 株。枯死木仍然集中在 5 cm 径阶, 占枯死木总数的 72.60%。

3.3 胸高断面积生长动态

由表 3 可知, 15 年的次生林的胸高断面积, 从初期的 15.010 m² 增加到期末的 15.706 m², 增加 0.696 m², 小径阶胸高断面积增加的最多, 其中 5 cm 径阶和 10 cm 径阶期胸高断面积增长量占总增长量的 59.29%。随着径阶的增加, 胸高断面积增幅呈现出递减趋势。对于 15 年的次生林的枯死木而言, 在 10 cm 径阶时达到最大值 0.638 m², 占枯死木总胸高断面积的 33.77%, 随着径阶的增加同样呈现递减趋势。

30 年的次生林胸高断面积变化和 15 年的次生林变化趋势相似, 胸高断面积从初期的 19.864 m²

表 2 SF1 和 SF2 两年调查间隔期内株数及进界生长动态统计

项目	胸径/cm	观测值/(株·hm ⁻²)			
		N ₁	N _m	N _{ing}	N ₂
SF1	5 ~ 10	890	140	127	877
	10 ~ 15	385	83		302
	15 ~ 20	165	26		139
	20 ~ 25	58	12		46
	25 ~ 30	14	1		13
	30 ~ 35	9	1		8
	35 ~ 40	1			1
	40 ~ 45				
	45 ~ 50	1			1
	50 ~ 55	1			1
(总计)		1 524	263	127	1 388
平均/(株·hm ⁻² ·a ⁻¹)			131.5	63.5	
SF2	5 ~ 10	1 261	53	114	1 322
	10 ~ 15	428	14		414
	15 ~ 20	153	3		150
	20 ~ 25	64	3		61
	25 ~ 30	28			28
	30 ~ 35	8			8
	35 ~ 40	11			11
	40 ~ 45	6			6
	45 ~ 50				
	50 ~ 55				
(总计)		1 959	73	114	2 000
平均/(株·hm ⁻² ·a ⁻¹)			36.5	57	

注: N₁ = 初期株数, N_m = 两年调查间隔期死亡株数, N_{ing} = 两年调查间隔期进界株数, N₂ = 期末株数。

表 3 SF1 和 SF2 两年调查间隔期内胸高断面积生长、死亡和进界

项目	胸径/cm	观察值/(m ² ·hm ⁻²)				
		B ₁	B _i	B _m	B _{ing}	B ₂
SF1	5 ~ 10	3.327	0.807	0.324	0.354	4.163
	10 ~ 15	4.222	0.517	0.638		4.101
	15 ~ 20	3.520	0.445	0.390		3.574
	20 ~ 25	2.050	0.222	0.398		1.874
	25 ~ 30	0.774	0.081	0.062		0.792
	30 ~ 35	0.629	0.113	0.077		0.665
	35 ~ 40	0.119	0.007			0.127
	40 ~ 45					
	45 ~ 50	0.169	0.007			0.176
	50 ~ 55	0.200	0.035			0.234
(总计)		15.010	2.234	1.889	0.354	15.706
(平均)			1.117	0.945	0.177	
SF2	5 ~ 10	4.908	0.694	0.208	0.228	5.622
	10 ~ 15	4.822	0.453	0.178		5.097
	15 ~ 20	3.583	0.281	0.047		3.817
	20 ~ 25	2.342	0.272	0.103		2.511
	25 ~ 30	1.592	0.069			1.661
	30 ~ 35	0.625	0.006			0.631
	35 ~ 40	1.211	0.092			1.303
	40 ~ 45	0.781	0.014			0.794
	45 ~ 50					
	50 ~ 55					
(总计)		19.864	1.881	0.536	0.228	21.436
(年均)			0.940	0.268	0.114	

注: B₁ = 初期胸高断面积, B_m = 两年调查间隔期死亡木胸高断面积, B_i = 两年调查间隔期进级木生长胸高断面积, B_{ing} = 两年调查间隔期进界木胸高断面积, B₂ = 期末胸高断面积。

增加到期末的 21.436 m^2 , 增加 1.572 m^2 , 胸高断面积生长量主要集中在小径阶, 5 cm 径阶和 10 cm 径阶胸高断面积增长量占总增长量的 60.98%。与 15 年的次生林不同, 30 年的次生林的枯死木胸高断面积在 5 cm 径阶达到最大, 占枯死木总胸高断面积的 38.81%。进阶木的胸高断面积为 0.228 m^2 , 小于 15 年的次生林的 0.354 m^2 。

15 年的次生林的胸高断面积的年平均增长量是 30 年的次生林的 1.2 倍, 表现出较快的增长速率。15 年的次生林和 30 年的次生林的胸高断面积的年平均枯死量分别为 0.945 m^2 和 0.268 m^2 , 15 年的次生林是 30 年的次生林的 3.53 倍, 15 年的次生林同时也表现出明显的高死亡率。

3.4 材积生长动态

由表 4 可知, 材积生长动态和胸高断面积动态表现出相似的规律。15 年的次生林的材积, 从初期的 75.054 m^3 增加到期末的 91.342 m^3 增加 16.288 m^3 , 在较小径阶时材积增加得最多, 其中 5 cm 径阶、

10 cm 径阶和 15 cm 径阶, 材积增长量占总增长量的 63.65%。随着径阶的增加, 材积增长量增幅呈现出递减趋势。对于枯死木而言, 在 10 cm 径阶时达到最大值 2.539 m^3 , 占枯死木总材积的 33.85%, 随着径阶的增加同样呈现递减趋势。

30 年的次生林材积变化和 15 年的次生林变化趋势相似, 从初期的 107.343 m^3 增加到期末的 117.278 m^3 , 增加 9.935 m^3 , 生长量同样主要集中在中小径阶, 5 cm 径阶和 10 cm 径阶材积增长量占总增长量的 52.18%。30 年的次生林的枯死木材积在 5 cm 径阶达到最大, 占枯死木总材积的 40.35%。进阶木的材积为 1.075 m^3 小于 15 年的次生林的 1.361 m^3 。

15 年的次生林和 30 年的次生林的材积的年平均增长量分别为 11.214 m^3 、 5.119 m^3 , 15 年的次生林是 30 年的次生林的 2.19 倍, 表现出明显的高材积年平均增长量。就林木材积年平均枯死量而言, 15 年的次生林是 30 年的次生林的 5.44 倍, 表现出明显的材积年高枯死率。

4 结论与讨论

就直径生长而言, 15 年的次生林年直径生长最大值为 0.79 cm, 这与陆元昌^[15] 所研究的结果树木年生长量最大值在 0.6 ~ 0.9 cm 相一致。处于早期的天然次生林 15 年的次生林的直径年平均生长量要显著高于处于较晚演替阶段的 30 年的次生林, 这与 Brearley 等人^[16] 的研究结果吻合, 同时 15 年的次生林的胸高断面积年平均生长量、材积年平均生长量也要高于 30 年的次生林, 主要原因是由于 15 年的次生林处于早期阶段, 其树种组成多为喜光速生树种, 再加之林分在早期阶段郁闭程度低, 喜光树种光照充足, 加速其生长过程。说明少量优势林木对生长动态的主导作用。

就林木株数的死亡率而言, 小径阶的林木具有较高的死亡率, 随着径阶的增加, 死亡率逐渐降低。这一结果与陆元昌^[15] 研究的结果相同。主要是林分中的小径阶林木数量最多, 处于激烈的竞争之中, 同时小径阶林木往往位于林下层, 一些喜光种因得不到充足的光照而死亡, 当随着径阶的增大, 林木在生态系统中已经占据了一个重要的生态位, 处于相对稳定的状态, 所以死亡率降低。

就林木死亡率而言, 15 年的次生林是 30 年的次生林的 3.6 倍, 其原因可能是 15 年的次生林处于

表 4 SF1 和 SF2 两年调查间隔期内活立木总蓄积量生长、死亡和进界

项目	胸径/cm	观察值 / ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)				
		V_1	V_i	V_m	V_{ing}	V_2
SF1	5 ~ 10	12.296	5.066	1.121	1.361	17.602
	10 ~ 15	20.065	4.460	2.539		21.986
	15 ~ 20	19.218	4.749	1.664		22.302
	20 ~ 25	11.560	2.708	1.699		12.570
	25 ~ 30	5.641	1.038	0.478		6.202
	30 ~ 35	3.568	2.033			5.601
	35 ~ 40	0.836	0.289			1.125
	40 ~ 45					
	45 ~ 50	0.972	0.677			1.649
	50 ~ 55	0.898	1.407			2.305
	(总计)	75.054	22.427	7.501	1.361	91.342
	(平均)		11.214	3.750	0.681	
	SF2	5 ~ 10	20.008	2.792	0.556	1.075
10 ~ 15		25.469	2.550	0.442		27.578
15 ~ 20		21.219	1.722	0.122		22.819
20 ~ 25		14.189	1.928	0.258		15.858
25 ~ 30		9.600	0.475			10.075
30 ~ 35		3.772	0.042			3.814
35 ~ 40		7.722	0.628			8.350
40 ~ 45		5.364	0.100			5.464
45 ~ 50						
50 ~ 55						
(总计)		107.343	10.237	1.378	1.075	117.278
(平均)			5.119	0.689	0.538	

注: V_1 = 期初材积, V_i = 两年调查间隔期材积生长量, V_m = 两年调查间隔期材积枯死量, V_{ing} = 两年调查间隔期材积进界生长量, V_2 = 期末材积。

演替的早期阶段,其林分中早期的先锋种要多于 30 年的次生林,而随着演替的进行,林分逐渐郁闭,林下早期的喜光先锋种会逐步被淘汰。

由此可见,在演替的早期阶段,速生喜光先锋种在林分中占据一定的位置,进而林分表现出较高的死亡率和较高的生长力,随着演替的进行,森林群落逐步趋于稳定,死亡率降低,并且随着喜光先锋速生树种的相对减少,其生长量也表现出下降的趋势。热带天然次生林生长极其复杂,但是存在一定的规律,掌握这些规律有利于制定最佳的森林经营计划。

参考文献:

- [1] rmenteras D, Rodríguez N, Retana J. Are conservation strategies effective in avoiding the deforestation of the Colombian Guyana Shield? [J]. *Biological Conservation*, 2009, 142 (7): 1411 - 1419
- [2] Trejo I, Dirzo R. Deforestation of seasonally dry tropical forest: a national and local analysis in Mexico[J]. *Biological Conservation*, 2000, 94(2) : 133 - 142
- [3] Brow K A, Gurevitch J. Long-term impacts of logging on forest diversity in Madagascar[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2003, 101: 6045 - 6049
- [4] Romero-Duque L P, Jaramillo V J, Perez-Jimenez A. Structure and diversity of secondary tropical dry forests in Mexico, differing in their prior land-use history[J]. *Forest Ecology and Managemeng*, 2007, 253: 38 - 47
- [5] lvarez-Y óiz J C, Mart ínez-Yr ízar A, B úrquez A, *et al.* Variation in vegetation structure and soil properties related to land use history of old-growth and secondary tropical dry forests in northwestern Mexico[J]. *Forest Ecology and Management*, 2008, 256: 355 - 366
- [6] 林媚珍,张镜铨. 海南岛热带天然林动态变化[J]. *地理研究*, 2001, 20(6) : 703 - 712
- [7] 邓 燊,陈秋波,刘建波. 海南省热带天然林保护和补偿现状及缺陷分析[J]. *热带农业科学*, 2007, 27(2) : 72 - 76
- [8] 李意德,陈步峰,周光益,等. 中国海南岛热带森林及其生物多样性保护研究[M]. 北京:中国林业出版社, 2002
- [9] 邓福英,臧润国. 海南岛热带山地雨林天然次生林的功能群划分[J]. *生态学报*, 2007, 27 (8): 3240 - 3249
- [10] 丁 易,臧润国. 海南岛热带低地雨林刀耕火种弃耕地恢复过程中落叶树种的变化[J]. *生物多样性*, 2008, 16 (2): 103 - 109
- [11] Zang R G, Ding Y. Forest recovery on abandoned logging roads in a tropical montane rain forest of Hainan Island, China[J]. *Acta Oecologica*. 2009, 35: 462 - 470
- [12] Husch B, Beers T W, Kershaw J A, *et al.* *Forest Mensuration* [M]. San Francisco: WileyBlackwell, 2003
- [13] Laar A V, Ak a A. *Forest Mensuration*[M]. Dordrecht: Springer, 2007
- [14] Kleinbaum D G, Kupper L L, Muller K E. *Applied Regression Analysis and Other Multivariable Methods*[M]. Wadsworth Publishing Co Inc; 3Rev Ed Edition, 1997
- [15] 陆元昌. 近自然森林经营的理论与实践[M]. 北京:科学出版社, 2006
- [16] Brearley F Q, Prajadinata S, Kidd P S. Structure and floristics of an old secondary rain forest in Central Kalimantan, Indonesia, and a comparison with adjacent primary forest[J]. *Forest Ecology and Management*, 2004, 195: 385 - 397