

巨尾桉人工林地上部分净生产力 及养分循环的研究*

徐大平 何其轩 杨曾奖 龙友深 简新华

摘要 对 1.5~3.5 年生巨尾桉扦插苗造林林分的生长、生物量增长、养分积累、凋落物量及其分解、林下植物生物量及养分积累和林分养分循环的调研结果表明, 巨尾桉林木生长和生物量增长高峰期为 2 年生, 3 年生时开始下降。1.5、2.5 和 3.5 年生林木地上部分生物量分别为 14.5、28.5 和 38.0 t/hm², 林下植物地上部分生物量分别为 2.6、3.4 和 6.3 t/hm²。林下植物地上部分的主要养分元素积累占 20%~40%。林分凋落物年平均为 5.6 t/hm², 凋落物年失重率为 55%, 1 年内凋落物中大部分养分元素已被分解释放, 林分能较快地建立起养分循环体系。施 N 肥能较好地改善林分的 N 吸收和循环速率, 如能施 P 肥也将会得到较好的效果。

关键词 巨尾桉 净生产力 养分循环

我国桉树无性系苗造林始于 80 年代末和 90 年代初, 有关桉树无性系林分生物量增长、养分积累、林下植物的变化、林分净生产力和养分循环等方面的研究较少。热带短轮伐期人工林的高生产力在全球碳循环和储存 CO₂ 中的作用和潜力也是大家研究和讨论的热点^[1]。在研究热带人工林的碳循环时, 注意力主要集中在地上部分的生物量、地被物、土壤有机质、净生产力和热带林通过河流和木材产品的碳输出上^[2]。有关巨尾桉(*Eucalyptus grandis* Hill ex Maidell × *E. urophylla* S. T. Blake) 林分生物量增长、养分积累、林分净生产力和养分循环方面的研究还没见报道, 其它如尾叶桉^[3]、细叶桉(*E. tereticornis* Sm)^[4~6]、巨桉^[7,8]和变色桉(*E. diversicolor* F. Muell)^[9]有关研究都有一些报道, 这些都有助于我们进一步认识桉树人工林的生态作用。桉树人工林的不合理经营和多代连栽导致地力衰退和生产力下降在华南地区已显得越来越突出, 该研究有利于提高桉树人工林养分管理水平和土壤肥力维持水平, 为桉树人工林的永续经营提供理论依据。

1 试验地自然条件

试验地位于广东省开平市国营镇海林场, 22°15' N, 112°30' E。海拔 100~200 m, 属低丘。坡度 10 左右, 坡向东南。年平均气温 22.1℃, 极端最高气温在 8 月, 为 38.3℃; 极端最低气温在 1 月, 为 1℃。平均年降雨量为 1822 mm, 主要集中在 3~9 月的雨季。常受台风袭击, 有时 1 年数次。土壤母质为石英砂岩, 0~30 cm 表土的化学分析结果: pH(水浸) 4.45, 有机质 23.9 g/kg, 全 N 0.85 g/kg, 全 P 0.48 g/kg, 全 K 13.0 g/kg, 有效 N 23.9 mg/kg, 有效 P 0.35

1995—12—04 收稿。

徐大平助理研究员, 何其轩, 杨曾奖(中国林业科学研究院热带林业研究所 广州 510520); 龙友深(广东省开平市国营镇海林场); 简新华(广东省开平市林业局)。

* 本研究为 1994~1997 年国际科学基金组织(IFS)资助的 D/1875—2 项目“中国热带地区主要外来树种人工林营养及养分循环”的部分内容, 并得到镇海林场的大力支持, 特此感谢。

mg/kg, 有效 K 22.7 mg/kg。

造林前的植被为湿地松人工林, 林相一般。砍伐炼山后挖穴整地, 株行距为 2 m × 2.5 m, 植穴规格为 60 cm × 50 cm × 40 cm。每公顷穴施复合肥(N, P₂O₅, K₂O 各占 15%) 450 kg 作底肥, 1991 年 7 月造林, 苗木为钦州 1 号无性系扦插苗。在第 2 年的 3 月和 9 月各抚育 1 次, 并分别追施相同的复合肥 200 kg/hm²。由于树木叶片的 N 含量较低, 初展开叶发红, 1993 年 5 月再施尿素 150 kg/hm²(N 含量为 46%)。

2 材料与方 法

根据不同的坡位设立 2 个 1 000 m² 的固定标准地, 每年进行每木检尺, 并根据测量结果, 在标准地外选择各径阶(1 cm)的标准木 12 株进行地上部分生物量测定。砍伐后即分别测定叶、枝、干和果的鲜重, 并把每株树干分成长 3 m 的若干段, 每段取约 5 cm 长的一小段样木测干材和皮的比例, 并带回室内烘干称重。同时取新鲜的枝、叶和果样品(100 ~ 500 g)各 1 份带回实验室在 75 °C 条件下烘干至恒重, 以求各部分的干物质重。对每年砍伐的 12 株标准木进行各部分(干材、树皮、枝、叶和果)的生物量和胸径 D 或胸径及树高 H 的相关分析, 从 6 个模型中选出最好的 1 个。早期同时测树高和胸径, 在 D 和 D^2H 这 2 个相关模型中选择相关指数较高的 1 个计算树木各部分的生物量; 后期树木很高, 测高误差较大, 只测树木的胸径, 并用 D 相关模型计算树木各部分生物量。依每个径阶的平均生物量乘以该径阶的株数就是该径阶的总生物量, 各径阶生物量之和就是林分树木的生物量^[10]。林下植物生物量通过小样方法测得, 在每个标准地收获 5 个 2 m² 样方的林下植物, 样方按林下植物多少和覆盖度设置^[9]。在野外称重后各取 1 个 500 g 的样品带回烘干。

在每个标准地设置 10 个 0.6 m² 的凋落物收集框, 每月收集 1 次^[3]。按叶、枝、果皮杂物 3 部分烘干称重。并用样袋法放置 48 个干重为 20 g 的凋落物分解样, 每 2 个月收集 4 个样袋测分解速度^[4], 并分析样品的主要养分元素含量。

用于化学分析的树木各器官样本取自 12 个标准木, 林下植物是样方的混合样本, 各取重复样品 2 个, 用分析结果的平均值代表各器官的养分含量。分析 N 用凯氏法, P 用钼蓝比色法, K 用火焰光度计法, 其它用原子吸收光谱仪测得。

3 结果与分析

3.1 生物量估算模型

林分没有郁闭前(1.5 年生)和郁闭后不久(2.5 年生), 树叶生物量与胸径 D 的相关比与 D^2H 的相关更密切(表 1)。这时树冠的大小在很大程度上决定了树叶生物量和胸径生长。林分郁闭后一段时间(3.5 年生)树木个体间竞争激烈, 优势木树叶较多, 胸径较大, 这时树叶生物量与 D^2H 的相关更为密切(表 1)。当树木长高时, 下面的叶受光不足而凋落, 但树枝仍存活一段时间。地上部分总生物量与 D^2H 的相关较为密切。

树木 3.5 年生时, 林分的平均高在 12 m 左右, 测量树高较困难。这时只量胸径而不量树高, 所以选择模型计算树木各器官生物量只能选与 D 相关的模型(表 1)。

3.2 生物量增长

从生物量结构来看, 1.5 年生林分与 2.5 和 3.5 年生林分有较大的变化(表 2)。前者树叶

表 1 巨尾桉生物量估算模型

项目	相关模型	相关指数	统计值	项目	相关模型	相关指数	统计值
1.5 年生				3.5 年生			
树皮	$Y = 17.249 D^{2.049}$	0.973	359.79**	干材	$Y = -8.556 4 + 2.851 7D$	0.960	241.10**
树叶	$Y = 85.973 e^{0.447D}$	0.989	884.58**	树皮	$Y = 0.011 4 D^{2.415 0}$	0.930	133.43**
干材	$Y = 35.691(D^2 H)^{0.841}$	0.988	833.44**	树枝	$Y = 0.001 4 D^{3.358 4}$	0.979	463.53**
树枝	$Y = 13.86 + 4.962 D^2 H$	0.963	261.11**	树叶	$Y = 0.002 7 D^{2.989 9}$	0.952	199.41**
2.5 年生				果实			
树皮	$Y = 0.079 6 e^{0.358 9D}$	0.963	260.31**		$Y = -0.377 3 + 0.986 D$	0.922	56.64**
树叶	$Y = 0.044 8 e^{0.430 4D}$	0.952	197.33**	注: $Y =$ 各部分生物量(kg), $D =$ 胸径(cm), $H =$ 树高(m)。			
干材	$Y = -0.121 8 + 0.015 2(D^2 H)$	0.994	1 702.12**	该表仅列用于后面林分生物量计算的模型, 其它模型省略。			
树枝	$Y = 0.001 2(D^2 H)^{1.136 8}$	0.963	261.11**				
果实	$Y = -0.230 6 + 0.000 9 D^2 H$	0.782	35.88				

表 2 巨尾桉林分的生物量结构

径 阶	株数 (株/hm ²)	平均胸径 (cm)	平均高 (m)	干材 (kg)	树枝 (kg)	树叶 (kg)	树皮 (kg)	果实 (kg)	生物量 (kg)	占总量 (%)
1.5 年生林分										
2.0~2.9	46	2.6	5.3	33.3	8.8	12.6	5.9	0	60.6	0.4
3.0~3.9	99	3.8	5.9	148.5	43.2	46.5	27.9	0	266.1	1.8
4.0~4.9	671	4.6	6.4	1 486.1	460.2	450.9	282.5	0	2 679.7	18.5
5.0~5.9	777	5.4	7.6	2 603.9	865.2	746.6	457.6	0	4 673.3	32.3
6.0~6.9	632	6.4	8.6	3 127.4	465.5	974.8	831.3	0	5 009.8	39.6
7.0~7.9	80	7.1	9.3	572.7	213.0	186.9	95.1	0	1 067.7	7.4
合计	2 316	5.0	7.2	7 971.9	2703.8	2 393.0	1 400.2	0	14 468.9	100
占总量%	—	—	—	55.3	9.7	18.4	16.6	0	100	—
2.5 年生林分										
2.0~2.9	8	2.9	7.2	6.4	1.0	1.2	1.8	-1.4	9.0	0.03
3.0~3.9	71	3.6	7.3	92.8	14.9	15.0	20.5	-10.5	132.7	0.5
4.0~4.9	110	4.5	8.1	261.8	43.4	34.4	44.0	-9.5	374.1	1.3
5.0~5.9	338	5.6	9.1	1 430.3	249.9	169.8	200.8	7.0	2 057.7	7.2
6.0~6.9	535	6.5	10.1	3 417.5	624.4	395.6	438.9	77.6	4 953.9	17.4
7.0~7.9	613	7.5	10.8	5 606.3	1 070.0	697.8	720.1	186.4	8 280.5	29.1
8.0~8.9	385	8.4	11.3	4 635.9	915.7	645.7	624.7	181.4	7 003.4	24.6
9.0~9.9	173	9.4	11.9	2 753.9	563.1	445.9	401.9	120.2	4 284.9	15.1
10.0~10.9	31	10.3	12.4	618.3	132.1	119.4	99.5	28.7	998.1	3.5
11.0~11.9	8	11.6	13.4	219.1	47.2	52.2	40.9	10.8	370.2	1.3
合计	2 272	7.1	10.3	19 043.4	3 661.5	2 577.0	2 593.1	591.6	28 464.6	100
占总量%	—	—	—	66.9	12.9	9.0	9.1	2.1	100	—
3.5 年生林分										
3.0~3.9	86	3.1	—	24.6	5.5	6.9	15.0	-6.2	45.7	0.1
4.0~4.9	86	4.6	—	394.5	20.5	22.6	39.0	6.6	483.2	1.3
5.0~5.9	244	5.4	—	1 667.8	99.6	103.6	162.9	37.8	2 071.7	5.4
6.0~6.9	432	6.5	—	4 315.5	328.8	319.4	451.3	113.9	5 528.9	14.5
7.0~7.9	621	7.6	—	8 147.1	799.1	732.6	946.4	230.9	10 856.1	28.6
8.0~8.9	385	8.5	—	6 042.0	721.5	634.7	768.8	177.4	8 344.4	21.9
9.0~9.9	252	9.4	—	4 591.5	662.1	561.3	641.7	138.2	6 594.8	17.4
10.0~10.9	102	10.4	—	2 156.8	376.4	307.4	331.6	66.2	3 238.4	8.5
11.0~11.9	24	11.3	—	558.3	117.0	92.7	95.3	17.4	880.6	2.3
合计	2 232	7.4	—	27 898.1	3 130.5	2 781.2	3 452.0	782.2	38 044.0	100
占总量%	—	—	—	73.3	8.2	7.3	9.1	2.1	100	—

和树皮占比例较高,都在 15% 以上。随着林龄的增长,树叶生物量所占比例越来越小,但绝对量还有所增加,虽然增长量很小。树枝生物量所占比例在 2.5 年生时最大,1.5 年生时较小,后期也在减小。干材生物量所占比例随林龄的增加而增加。树皮在 2.5 年生以后生物量所占比例较稳定,但绝对量仍在增加。从干材和树皮重量之比看,随着林龄的增长其比例迅速变小。

从地上部分生物量增长看,2.5 年生林分比 1.5 年生林分的干材、树枝、树叶、树皮和果实的增加量分别为 11 071、958、184、1 193、592 kg/hm²,合计为 13 998 kg/hm²。以上各生物量增长所占比例分别为 79.1%、6.8%、1.3%、8.5%和 4.3%。3.5 年生林分比 2.5 年生林分上述部分的生物量增加量分别为 8 855、531、204、859 和 191 kg/hm²,合计为 9 579 kg/hm²。其增长所占比例分别为 92.4%、- 5.6%、2.1%、9.0%、2.0%。可见林木在 2.5 年生后,地上部分生物量的增长主要为干材的增加,其它部分增加有限或在减少。虽然巨尾桉在 2.5~3.5 年生时还是生长高峰时期,但生长量已在减少,逐渐达生产上的成熟林阶段。1.5、2.5 和 3.5 年生林分的林下植物地上部分生物量分别为 2 568、3 409 和 6 300 kg/hm²。2.5 年生时树叶总量几乎不再增加,而树高生长和分化导致树叶分布范围增加,所以林下的光照条件有所改善,这时林下植物生长加快,生物量也不断增加。

3.3 养分积累

养分元素的分布因林龄和器官不同而异,N 主要分布在树叶和林下植物中(表 3)。1.5 年生时树叶的 N 积累量占地上部分总积累量的 40% 左右,林下植物仅 27% 左右;3.5 年生时树叶积累量已下降到 28%,而林下植物则上升到 35%。因为在 1.5 年生时,林分缺 N,并出现有

表 3 巨尾桉林分的主要养分元素积累量

(单位:kg/hm²)

项目	N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Zn	Cu	B
1.5 年生林分										
树叶	21.05	2.54	9.57	8.61	6.82	1.15	0.804	0.126	0.022	0.025
树枝	4.30	1.41	3.79	5.14	1.38	0.38	0.322	0.028	0.030	0.008
树皮	2.32	0.90	4.48	10.36	2.38	0.02	0.476	0.014	0.014	0.003
干材	11.16	2.07	6.38	2.39	1.83	0.24	0.231	0.040	0.048	0.008
林下植被	14.45	1.85	10.02	6.42	4.80	0.73	0.519	0.077	0.026	0.040
合计	53.30	8.76	34.23	32.93	17.22	2.52	2.352	0.285	0.138	0.084
2.5 年生林分										
树叶	35.45	2.22	12.42	7.32	4.56	3.53	0.727	0.043	0.035	0.040
树枝	13.25	1.28	9.70	6.15	1.43	2.27	0.584	0.027	0.055	0.033
树皮	14.39	1.06	7.29	13.85	3.53	0.65	0.726	0.016	0.026	0.023
干材	31.04	5.90	10.28	4.51	1.92	4.00	0.609	0.076	0.076	0.023
林下植被	25.82	2.05	13.33	4.47	5.08	4.16	0.365	0.133	0.044	0.051
果实	2.59	0.59	2.14	1.65	0.94	0.56	0.146	0.007	0.007	0.005
合计	122.56	13.10	55.16	37.94	17.46	15.16	3.157	0.302	0.244	0.176
3.5 年生林分										
树叶	36.52	3.87	15.27	4.54	4.72	3.53	1.331	0.068	0.042	0.028
树枝	8.51	1.85	6.07	2.66	0.85	0.72	0.432	0.040	0.036	0.019
树皮	9.91	1.55	10.05	10.56	3.12	1.04	1.139	0.045	0.023	0.023
干材	22.88	7.53	17.30	3.18	3.60	3.07	0.826	0.170	0.128	0.106
林下植被	45.55	5.54	21.23	4.72	6.29	4.98	0.852	0.185	0.091	0.069
果实	5.20	0.93	5.16	1.09	1.06	0.62	0.230	0.020	0.010	0.005
合计	128.56	21.27	75.08	26.75	19.64	13.95	4.810	0.527	0.330	0.250

明显的症状(顶端树叶发红)。1993 年 5 月施尿素 150 kg/hm²,所以 2.5 年生时林分的 N 积累量急剧增加,3.5 年生时增加减缓,树枝、树皮和干材的积累量反而减少。如每年收获林下植物

作为燃料和 2.5 年生时收获树叶蒸馏桉油对人工林的养分平衡都有较大的破坏作用。

P 在树木各部分中的分布相对较均匀, 总的积累量每年有增加。1.5 年生林木树叶积累量最大, 依次是干材、林下植物、树枝和树皮。2.5 和 3.5 年生时干材 P 的积累量最大, 分别占总积累量的 45% 和 35%。通常的经营方式之一是在 2.5 ~ 3.5 年生时间伐部分树木作顶木, 造成林分 P 大量损失, 在华南地区土壤中有效 P 十分缺乏的情况下, 对土壤养分的管理将是十分突出的问题。树叶的 P 积累占总积累量的比例随着林龄的增加而减小, 而林下植被的比例则是随着林龄的增加而增加。

树木各部分中 K 的分布比例较稳定, 随着林龄的增长变化不大, 只是树枝部分 2.5 ~ 3.5 年生时 K 积累减少, 因这时树枝的生物量也在减少, 同时树枝的养分含量也在下降, 与老枝增多有关。K 的总积累量也是随林龄的增长而增加, 林下植物、干材和树叶都占有较大的比例。

Ca 主要分布在树皮中, 树木在早期就吸收了足够的 Ca, 3.5 年生时的总积累量比 2.5 年生时减少而不是增加。1.5 年生时 S 以树叶的积累量为主, 后来是以林下植物、干材和树叶 3 部分为主。Mg 也是保持 1.5 年生时的积累量, 并不随生物量的增长而增加。在 Mg 的总积累量中树叶和林下植物占有较大比例。

微量元素 Mn、Zn、Cu 和 B 的积累量都是随着林龄的增长而增加, Mn 的积累量以树叶为主, 其它 3 个元素分布都较均匀。

3.4 林分的凋落物量及其分解

林分凋落物量第 1 年为 $4\ 453\ \text{kg}/\text{hm}^2$, 其中叶、枝、果及杂物分别为 $3\ 547$ 、 763 、 $144\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 。第 2 年为 $6\ 756\ \text{kg}/\text{hm}^2$, 其中叶、枝、果及杂物分别为 $4\ 205$ 、 $1\ 954$ 、 $598\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 。从图 1 可知: 林分凋落物量 3 月份和 4 月份相对较少, 因为这时正值春季, 桉树开始发叶。2 年生时 7 ~ 10 月份凋落物量较多, 3 年生时的 8 ~ 11 月份凋落物量较多。在两个年度的 5 月份, 凋落物都有一个高峰, 这可能由于 3 ~ 4 月份发叶后新叶占较有利的竞争地位, 老的叶枝完成使命而新陈代谢所致。

凋落物试样的失重率前期较快, 后期明显放缓(图 2)。年失重率为 55%, 同其它阔叶树的

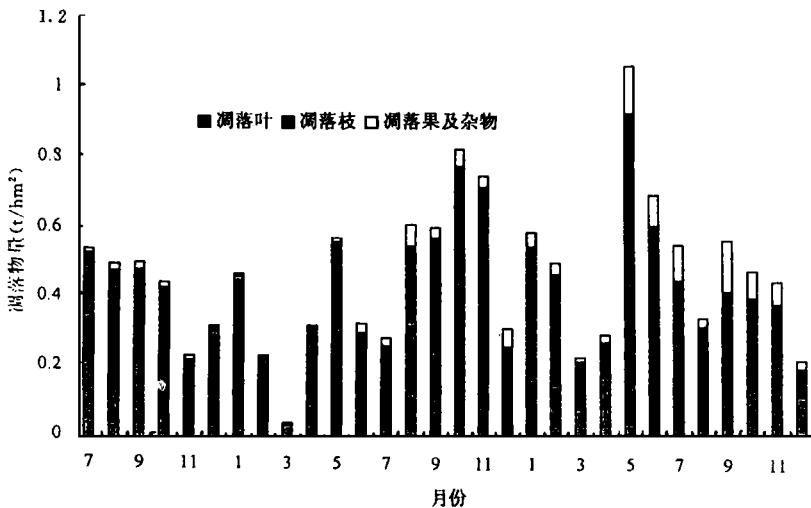


图 1 巨尾桉林分(1.5 ~ 3.5 年生)凋落物量的月分布

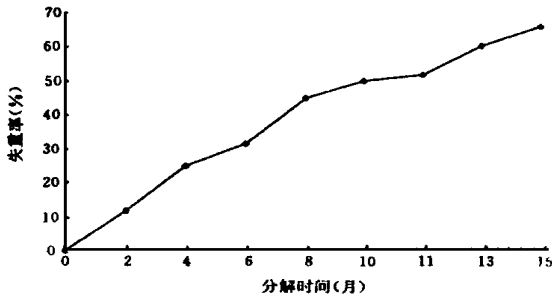


图2 巨尾桉凋落物分解失重过程

凋落物分解速率相当,比针叶树的要快。从养分元素释放量来看,N在前4个月的释放量占1/3左右,以后减慢,1年后试样中2/3的N都被释放(图3)。P在前4个月的释放量比N还要大。近50%被分解释放,1年后约90%都释放了。前4个月K的释放量在60%以上,以后减慢。Ca和Mg的释放速度较均匀,但前期比后期释放量大(图4)。13个月以后,基本不能看出凋落物的形状,剩余物多同植物根系和蚯蚓的粪便混在一起,难

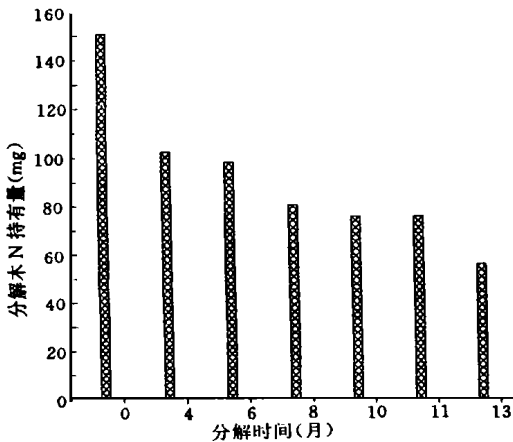


图3 巨尾桉凋落物分解样N的释放过程

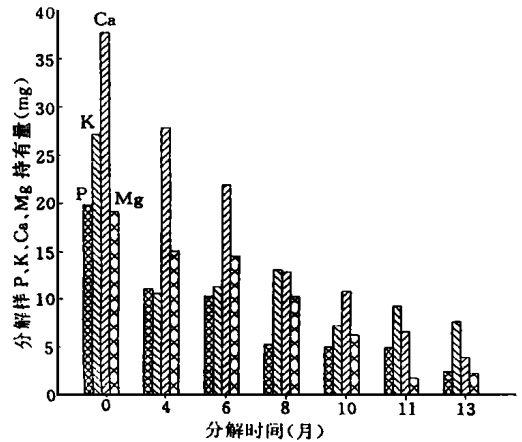


图4 巨尾桉凋落物分解样P、K、Ca、Mg的释放过程

以分称称重和作养分分析,估计很快将转变为土壤腐殖质。

该林分从1.5~2.5年生时,地上部分的净生产力为 19.3 t/hm^2 ,其中树木生物量增加了 14.0 t/hm^2 ,林下植物生物量增加了 0.8 t/hm^2 ,凋落物为 4.5 t/hm^2 。从2.5~3.5年生时,地上部分的净生产力为 19.2 t/hm^2 ,其中树木生物量增加了 9.6 t/hm^2 ,林下植被生物量增加了 2.9 t/hm^2 ,凋落物为 6.7 t/hm^2 。后一年的净生产力同前一年的基本相同,但生物量增长部分减少,生长速度放缓。

3.5 林分的养分循环

从N的吸收量看,1.5~2.5年生明显比2.5~3.5年生要大(表4),循环速率也明显提高。这与1.5年生时的施N肥有关,同时由于树木生长的放缓,对N的需求量减少,但林下植物的生长仍需要N。P的吸收量、存留量和归还量2.5~3.5年生时明显大于1.5~2.5年生,但循环速率减低。由于树木的需求大,归还量有限,P的另一个来源将是土壤中的库存。此时如想树木快速增长,施P肥是十分有效的措施之一。K的吸收量和存留量变化不大,归还量有所增加。由于K的归还中有很大一部分是通过林冠淋洗,所以实际归还的量还要大。Ca和S的

存留量为负值, 说明树木后期对它们的需求不大。Mg、Mn 和 B 的循环速率较大, 能很快地形成养分循环体系。Zn 的循环速率变小, 说明树木的需求增大。而 Cu 则相反, 说明需求减小。

表 4 巨尾桉林分地上部分养分元素的吸收量、存留量和归还量 (单位: kg/hm²)

养分元素	1.5~2.5 年生				2.5~3.5 年生			
	吸收量	存留量	归还量	循环速率(%)	吸收量	存留量	归还量	循环速率(%)
N	103.76	69.26	34.50	33.2	52.09	6.00	46.09	88.9
P	6.55	4.34	2.21	33.7	11.19	8.17	3.02	27.0
K	28.45	20.93	7.52	26.4	33.04	19.92	13.12	39.7
Ca	23.52	5.01	18.51	78.7	13.58	- 11.19	24.77	182.4
Mg	6.85	0.24	6.61	96.5	10.86	2.18	8.68	79.9
S	17.45	12.64	4.81	27.6	5.03	- 1.21	6.24	124.1
Mn	2.017	0.195	1.822	90.3	4.188	1.653	2.535	60.5
Zn	0.114	0.017	0.097	85.1	0.350	0.225	0.125	35.7
Cu	0.150	0.106	0.044	29.3	0.152	0.086	0.066	43.4
B	0.203	0.092	0.111	54.7	0.222	0.074	0.148	66.7

注: 不包括林冠降雨淋洗而归还的部分。

4 结论和讨论

(1) 2 年生时为巨尾桉高速生长期, 平均胸径增长 2.1 cm, 生物量增长 14 t/hm²。3 年生时生长放缓, 平均胸径增长 0.3 cm, 生物量增长 9.5 t/hm²。说明巨尾桉无性系苗造林同尾叶桉实生苗相比前期生长快, 但衰老得也快。到底是什么原因造成无性繁殖苗造林后快速衰老有待于进一步的探讨。

(2) 林下植物在该林分的生物量增长、养分积累和循环中有重要作用。1.5、2.5 和 3.5 年生时林下植物地上部分生物量分别为 2.695、3.495 和 6.395 t/hm²。1.5 年生时林下植物地上部分 N、P、K 的积累量分别为 14.5、1.9 和 10.0 (kg/hm²), 2.5 年生时林下植物 N、P、K 的积累量分别为 25.8、2.1 和 13.3 kg/hm², 3.5 年生时林下植物 N、P、K 的积累量分别为 45.6、5.5 和 21.2 kg/hm²。占整个林分地上部分养分积累量的 20%~40%。林下植物中比较高的灌木通过凋落物的形式参与养分循环, 而象草等草本植物则是通过部分器官死亡或成片死亡参与养分循环。这对稳定和调节人工林养分循环有着重要的作用。有关桉树人工林林下植被的生物多样性在生态系统中的功能和作用有待进一步的研究。

(3) 巨尾桉人工林在 1.5~3.5 年生时年平均凋落物量为 5.6 t/hm², 同该地区其它人工林相比为中上水平^[3, 10, 12]。凋落物的分解和养分释放都较快, 能在 1 a 的时间内分解大部分凋落物和释放大部分的养分, 能较快地建立起养分循环体系。

(4) 在树木早期砍伐作为顶木时, 全树砍伐将有大量的养分元素被带出人工林生态系统。只砍伐干材部分, 养分损失仍有一定的数量。如有可能, 应将无用的树皮归还给土壤, 应绝对禁止收割林下植物作为烧火材, 因为这将会导致大量养分损失而影响养分循环。

(5) 施 N 肥能很好地改善林分的养分状况并提高 N 的循环速率。林分 P 的归还量和循环速率都较低, 增加 P 的投入将有利于改善林分的养分状况。

参 考 文 献

- 1 Ariel E Lugo, Sandra Brown. Tropical forests as sinks of atmospheric carbon. Forest Ecology and Management,

- 1992, 54: 239 ~ 255.
- 2 Paul Schroeder. Carbon storage potential of short rotation tropical tree plantations. *Forest Ecology and Management*, 1992, 50: 31 ~ 41.
 - 3 徐大平, 曾育田, 李伟雄. 尾叶桉幼林地上部分生物量及养分循环的研究. *林业科学研究*, 1994, 7(6): 600 ~ 605.
 - 4 Sankaran K V. Decomposition of leaf litter of albizia (*Albizia falcataria*), eucalypt (*Eucalyptus tereticornis*) and teak (*Tectona grandis*) in Kerala, India. *Forest Ecology and Management*, 1993, 56: 225 ~ 242.
 - 5 Bargali S S, Singh S P, Singh R P. Structure and function of an age series of eucalypt plantations in Central Himalaya. I. Dry matter dynamics. *Annual of Botany*, 1992, 69: 405 ~ 411.
 - 6 Bargali S S, Singh S P, Singh R P. Structure and function of an age series of eucalypt plantations in Central Himalaya. II. Nutrient dynamics. *Annual of Botany*, 1992, 69: 405 ~ 411.
 - 7 Elaine M Birk, John Turner. Response of flooded gum (*E. grandis*) to intensive culture treatments: biomass and nutrient content of eucalypt plantations and native forest. *Forest Ecology and Management*, 1992, 47: 1 ~ 28.
 - 8 John Turner, Marcia J, Lambert, Geoff Holmes. Nutrient cycling in forested catchments in southeastern New South Wales. I. Biomass accumulation. *Forest Ecology and Management*, 1992, 55: 135 ~ 148.
 - 9 Grove T S, Malajczuk N. Nutrient accumulation by trees and understorey shrubs in an age-series of *Eucalyptus diversicolor* F. Muell. Stands. *Forest Ecology and Management*, 1985, 11: 75 ~ 79.
 - 10 徐大平, 杨民权. 马占相思幼林地上部净生产力和养分循环的研究. *广东林业科技*, 1994, (4): 11 ~ 16.
 - 11 王明珠, 何园球, 赵其国. 我国热带亚热带森林土壤水的矿质元素组成特点. *土壤*, 1994, (3): 230 ~ 236.
 - 12 吴志东, 彭福泉, 车玉萍, 等. 我国南亚热带几种人工林的生物物质循环特点及其对土壤的影响. *土壤学报*, 1990, 27(3): 250 ~ 260.

Above-ground Primary Productivity and Nutrient Cycling of *Eucalyptus grandis* × *E. urophylla* Plantation

Xu Daping He Qixuan Yang Zengjiang Long Youshen Jian Xinhua

Abstract After the investigation on tree growth, tree biomass increment, tree nutrient accumulation, litter-fall and its decomposition, understorey biomass and nutrient accumulation, nutrient cycling of *E. grandis* × *E. urophylla* plantation from 1.5 to 3.5 years old, it is found that the highest growing period of tree diameter and biomass of the plantation was 2 years old, and they were slowing down at 3 years old. Tree biomass of 1.5, 2.5 and 3.5 years old plantations were 14.5, 28.5 and 38.0 t/hm² respectively, and the understorey biomass were 2.6, 3.4 and 6.3 t/hm² respectively. Nutrient accumulation by understorey was about 20% ~ 40% of total above-ground nutrient accumulation. Annual litter-fall was 5.6 t/hm². Litter decomposition rate was 55% per year and most nutrient content in litter-fall was lost to soil in a year. This plantation established nutrient cycling system earlier than the others. N fertilization had improved N accumulation and cycling rate obviously. If there is some P fertilization, trees would grow better.

Key words *Eucalyptus grandis* × *E. urophylla* primary productivity nutrient cycling