

97,17(3)  
225-233

1997 | 90772x | 017 | 003

21151(1)

225-336

# 橡胶-砂仁复合系统生物产量、营养元素空间格局的研究

周再知 郑海水 杨曾奖 尹光天

(中国林科院热带林业研究所, 广州, 510520)

S794-102  
S567-239

A

**摘要** 通过对橡胶与砂仁间作林和同龄纯胶林各层次各器官生物量及10种营养元素含量的测定, 对比研究了两种林分乔木层生物量按径级分配、林分年均净生产量、营养元素的积累分布规律。林龄为30 a, 间作龄为8 a的胶砂间作林的总生物量为139.85 t/hm<sup>2</sup>, 其中乔木层占72.7%, 间作层占22.6%, 枯落物层占5.2%, 与同龄纯胶林相比, 乔木层提高了7.6%, 枯落物层提高了38.9%。两种林分乔木层地上部分生物量约占总生物量的80%左右, 木质部总生物量是皮总生物量的5倍。胶砂间作林年均净生产量为24.232 t/hm<sup>2</sup>, 是纯胶林的1.88倍。乔木层10种营养元素的积累量胶砂间作林为2214.22 kg/hm<sup>2</sup>, 纯胶林为1511.71 kg/hm<sup>2</sup>, 间作林是纯胶林的1.46倍。枯落物层5种主要营养元素的积累量间作林较纯胶林提高63.2%。

**关键词:** 橡胶树, 砂仁, 间作, 生物量, 营养元素, 复合生态系统

## RESEARCH ON SPATIAL PATTERN OF BIOMASS AND NUTRIENT ELEMENT IN PLANTATION OF RUBBER INTERCROPPED WITH AMOMUM LONGILIGULARE

Zhou Zaizhi Zheng Haishui Yang Zengjiang Yin Guangtian

(Research Institute of Tropical Forestry, Guangzhou, 510520, China)

**Abstract** In a rubber plantation intercropped with *A. longiligulare* (RA) and a pure rubber plantation (PP) of 30-year-old, biomass and nutrient element of each component of tree, intercrops and litters were detected. Biomass allocation in terms of diameter class, net production and nutrient accumulation of two plantation, have been studied comparatively. The results showed that the total biomass of RA was 139.85 t/hm<sup>2</sup>, among which the biomass of trees, intercrops and litters accounted for 72.7%, 22.6%, and 5.2% respectively; Compared with PP system, the biomass of trees and litters in RA system were increased by 7.6% and 38.9%. In the two plantations, approximately 80% of biomass were in the aerial part and 20% in the roots, moreover the woody biomass is 5 times that of barks. The net production of RA system is 24.232 t/hm<sup>2</sup> a, 1.88 times of PP system. The accumulation of ten nutrient ele-

\* 本研究是加拿大 IDRC 资助的“华南热带农林业模式综合研究项目”的一部分。  
收稿日期: 1995-07-03, 修改稿收到日期: 1996-12-30

ments of RA system at tree layer was 2214.22 kg/hm<sup>2</sup>, which was 1.46 times of PP system. The accumulation of five nutrient elements at litter layer of RA system was increased by 63.2% than that of PP system. For two rubber plantations, the order of accumulation of nutrient element was the same as tree and litter layer, namely N > Ca > K > Mg > S > P > Fe > Mn > Zn > Cu for tree layer, and N > Mg > Ca > K > P for litter layer.

**Key words:** rubber tree, *Amomum longiligulare*, intercropping, biomass, nutrient element.

橡胶树(*Hevea brasiliensis* (H. B. K.) M. -Arg)热带地区的速生经济树种,1904年引入我国,先后在云南、海南、广东雷州半岛等地大面积种植,获得了成功,并逐渐在华南5省区南部推广,现种植面积居世界第4位<sup>[1]</sup>。橡胶树除可以用于生产胶液外,其木材也是良好的用材,可用于制造各种家具、纤维板、刨花板、中密度纤维板等。随着热带森林及木材资源的不断减少,橡胶树木材的加工利用倍受国际社会注目,相应地对橡胶林的研究亦受到重视。

砂仁(*Amomum Longiligulare*),姜科多年生常绿草本植物,四大名贵南药之一。其果实、果皮及叶油具有行气调中、温脾胃、消滞安胎之功效<sup>[2]</sup>。砂仁喜阴好湿,适宜在65%~75%荫蔽度下生长。按其生物学、生态学特性在橡胶树行间种既能充分利用土地资源,又能充分利用光能、热能,并改善生态环境。间种砂仁每公顷15000~16500株,3a后可投产。

对橡胶与砂仁间作复合生态系统(简称胶砂间作)开展了小气候特征、土壤肥力变化研究<sup>[3,4]</sup>,但对间作系统的生物量和营养元素积累与分布状况尚无研究报道。本项工作不仅为深入地研究复合系统的养分循环和能量流动打下基础,而且可为合理地进行胶园间作提供科学依据。

### 1 试验地自然概况

试验地设在广东省雷州半岛地区的徐闻县国营南华农场,位于20°11',东经110°11',属热带季风气候区。年平均温度22.7℃,年平均相对湿度85%,年平均降水量1579.3mm。受干季风影响,干湿季分明,雨量多,但分配不均。11~4月为旱季雨量少,5~10月为雨季,因受台风影响,大部分降水集中在7~9月。地形为台地地貌,地势平缓。土壤为玄武岩发育成的铁质砖红壤,土层深厚。50年代初,农场开始种植橡胶,为提高土地利用效率,于70年代后期开始在胶林内大面积间种经济作物,如咖啡、胡椒、茶叶、菠萝等。1982年开始间种砂仁,到1986年间种植面积已达120hm<sup>2</sup>,年平均总产量达7.3t(干果)<sup>[5]</sup>。橡胶与砂仁间作复合生态系统的基本特征如表1。

表1 橡胶与砂仁间作复合生态系统的基本特征

Table 1 The characteristic of interplanted system

林分 类型 Stand type	橡胶树 Rubber tree						砂仁 <i>A. longiligulare</i>		
	株行距 Spacing (m)	平均树高 Height (m)	平均胸径 D, D, H (cm)	枝下高 B, B, H (m)	郁闭度 Canopy density	林龄 Age (a)	平均高 H, (m)	密度 Density (No./m <sup>2</sup> )	间作龄 Age (a)
橡胶+砂仁(RA)	3×6	11.1	18.5	2.58	0.85	30	1.5	16	8
纯橡胶林(PP)	3×6	10.8	18.1	2.47	0.80	30	—	—	—

(RA) Plantation of rubber interplanted with *A. longiligulare*. (PP) Pure rubber plantation.

### 2 研究方法

#### 2.1 样木生物量测定

橡胶树:在大面积种植的幼龄、中龄及老龄胶林内,分别设置面积为50×50m<sup>2</sup>样地,在样地内按径级选伐1~6株标准木。样木共计50株;样木各器官的生物量采用全部称重法测定,即干材和大枝(基径

>4 cm)采用 1 m 的区分段称鲜重; 枝叶全部摘除后称叶及小枝鲜重; 地下部分全部挖出后, 分根桩和根称鲜重。采集的各器官样品置于通风干燥箱内, 在 80℃ 恒温下烘至恒重, 求出干鲜比, 并将样木各器官鲜重换算成干重。由于橡胶树分枝较大, 且粗枝被作为小径材利用, 故将基径大于 4 cm 的枝材并为干材计算。

按相对生长法建立树叶、枝、干、根桩、树根的生物量数学模型<sup>[6]</sup>。最佳拟合生物量模型如表 2。

表 2 橡胶树各器官生物量最佳估算模型

Table 2 The regression equation between each organ dry weight and girth of rubber tree

项 目 Component	方 程 Regression equation	剩余标准差 Standard deviation	相关系数 Correlation coefficient
树叶 Leaf	$\ln W_1 = 1.75454 \ln G - 4.91845$	$s = 0.2593,$	$r = 0.977$
带皮部分 Over bark			
树枝 Branch	$\ln W_b = 2.55656 \ln G - 6.66821$	$s = 0.2532,$	$r = 0.985$
树干 Truck	$\ln W_s = 2.58718 \ln G - 5.94985$	$s = 0.2386,$	$r = 0.991$
树根 Root	$\ln W_r = 3.09968 \ln G - 10.5758$	$s = 0.2524,$	$r = 0.994$
根桩 Stump of root	$\ln W_t = 2.17887 \ln G - 5.47883$	$s = 0.2539,$	$r = 0.985$
去皮部分 Under bark			
树枝 Branch	$\ln W_b = 2.54046 \ln G - 6.82487$	$s = 0.2452,$	$r = 0.989$
树干 Truck	$\ln W_s = 2.55534 \ln G - 5.99327$	$s = 0.2454,$	$r = 0.990$
树根 Root	$\ln W_r = 3.55708 \ln G - 13.0003$	$s = 0.1979,$	$r = 0.990$
根桩 Stump of root	$\ln W_t = 2.15263 \ln G - 5.44455$	$s = 0.2549,$	$r = 0.983$

注:  $W$ ——橡胶树木各器官的生物量, biomass of each organ of rubber

$G$ ——橡胶树的围径(距地面 1.3 m 处), Girth of rubber at height 1.3 m.

## 2.2 乔木层生物量的测定

在生长状况良好且具代表性的胶砂间作及同龄纯胶林固定样地内, 进行测树因子调查, 依据上述回归方程和对样地内橡胶树树围实测数据, 计算各径级橡胶木各器官的平均生物量, 各径级、各器官的生物量总和即为样地总现存生物量, 再根据种植规格和树种的数量, 计算林分各器官和总的生物量。

## 2.3 间作物及枯落物生物量测定

砂仁: 在橡胶树 6 m 宽行间随机设置 5 个面积为  $0.5 \times 0.5 \text{ m}^2$  样方, 采用收割法分别测定砂仁茎、叶、根、果鲜重, 同时采集各器官部分样品, 在 80℃ 条件下烘至恒重, 计算样方内砂仁平均干物质重量。枯落物: 因橡胶树在 1~3 月内树叶全部掉落, 其他月份虽有落叶, 但数量很少, 故选择 3 月份在样地内设置 5 个面积为  $1 \times 1 \text{ m}^2$  的样方, 收集样方中的全部枯落物, 称其鲜重, 烘干样品后推算单位面积枯落物总量, 近似年枯落物量。

## 2.4 林分净生产量测定

乔木层和间作层的净生产量采用下列公式计算<sup>[7]</sup>:

$$\Delta PN = W/a$$

式中,  $\Delta PH$  为平均净生产量(表示生产力),  $W$  为生物量,  $a$  为年龄。

间作层(砂仁)的生产力为砂仁的茎、叶、根、果器官生产力之和(砂仁种植后 3a 左右, 老茎和叶被砍掉, 故茎、叶的年龄( $a$ )取 3, 根的年龄取间作龄 8, 果实为当年的生物量。

林分净生产量为乔木层和间作层平均净生产量与林分年枯落量之和。

## 2.5 植物样品营养元素分析

氮用半微量凯氏法; 磷用钼兰比色法; 钾用火焰光度计; 硫用  $\text{BaSO}_4$  比浊法; 钙、镁、锌、锰、铁、铜用原子吸收分光光度计测定<sup>[8]</sup>。

## 3 结果分析

### 3.1 乔木层生物量的径级分配

对比研究两种林分在各个径级中的分配,可以反映间作对林分径级结构的影响。表3表明橡胶与砂仁间作及纯胶林中各器官的生物量均随径级的增大而增大,到20径级时,达最大值,而后随胶树径级的增大、株数的减少,生物量相应减少;胶砂间作林中,中径级(12~18 cm)生物量偏低,大径级生物量(22~24 cm)偏高,而纯胶林却相反,在林分经营管理水平相同的情况下,无疑间作砂仁是导致林分生物量径级分配不一致的因素;胶砂间作林径级分配较完整,而纯胶林出现断层现象,尚不能肯定产生断层的原因。

橡胶与砂仁间作后促进了橡胶的生长,胶砂间作林中胶树各器官的生物量都高于纯胶林,分别提高:树叶2.96%,树枝7.98%,树干8.19%,树根12.0%,根桩5.5%,树皮8.7%,其中以树根提高的最大,这主要是由于胶林间作砂仁后改善了林内小气候<sup>[3]</sup>和土壤养分状况<sup>[4]</sup>,使胶树根系生长较发达。根系是植物从土壤中吸收养分的器官,根系愈发达对地上部分其他器官生产力影响愈大。胶砂间作林乔木层地上部分、地下部分及总生物量分别为80.78, 20.13和100.91 t/hm<sup>2</sup>,比纯胶林分别高7.8%, 6.8%和7.6%,尽管胶林间种砂仁后增加了各器官的生物量,但并未改变地上部分生物量与地下部分生物量所占总生物量的比值关系。从表中可以看出,无论是胶砂间作林还是纯胶林,地上、地下部分的生物量均占总生物量的80%和20%,各器官生物量占总生物量的百分比相接近,且大小次序不变,即去皮树干>去皮树枝>去皮根桩>树杆皮>树叶>树枝皮>树根>树根皮>根桩皮。

表3 林分生物量的径级分配

Table 3 The each organ dry weight of different diameter class of rubber (t/hm<sup>2</sup>)

林分类型 Type	径级 Class	株数 No. of tree	树叶	树枝	Branch	树干	Track	地上部	树根	Root	根桩	Stump	地下部	合计	百分比
			木质	皮	木质	皮	分小计	木质	皮	木质	皮	分小计	Total	Percent (%)	
橡胶 + 砂 仁 (RA)	12	64	0.226	0.546	0.130	1.322	0.224	2.448	0.043	0.051	0.547	0.033	0.675	3.123	3.1
	14	48	0.288	0.863	0.210	2.097	0.377	3.835	0.088	0.084	0.778	0.053	1.003	4.838	4.8
	16	48	0.340	1.102	0.271	2.684	0.492	4.889	0.123	0.109	0.958	0.068	1.257	6.146	6.1
	18	80	0.667	2.321	0.575	5.660	1.057	10.280	0.286	0.229	1.947	0.143	2.605	12.885	12.8
	20	144	1.472	5.614	1.404	13.713	2.621	24.824	0.778	0.551	4.500	0.346	6.174	30.998	30.6
	22	112	1.336	5.459	1.374	13.351	2.596	24.116	0.826	0.530	4.230	0.336	5.922	30.038	29.8
	24	32	0.507	2.353	0.600	5.769	1.157	10.386	0.420	0.220	1.712	0.144	2.496	12.882	12.8
	Sum (%)	528	4.836	18.258	4.564	44.596	8.524	80.778	2.563	1.774	14.672	1.123	20.132	100.91	100.0
		—	4.8	18.1	4.5	44.2	8.4	80.1	2.5	1.8	14.5	1.1	19.9	100.0	—
纯 胶 林 (PP)	12	48	0.316	0.825	0.198	2.000	0.346	3.685	0.070	0.079	0.797	0.050	0.995	4.680	5.0
	14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	16	144	1.019	3.297	0.810	8.028	1.471	14.625	0.369	0.325	2.866	0.203	3.764	18.389	19.6
	18	144	1.245	4.406	1.093	10.747	2.016	19.507	0.554	0.434	3.664	0.272	4.924	24.431	26.1
	20	144	1.484	5.682	1.421	13.880	2.655	25.122	0.791	0.557	4.547	0.350	6.246	31.368	33.4
	22	32	0.395	1.639	0.413	4.011	0.783	7.241	0.253	0.159	1.261	0.101	1.773	9.014	9.6
	24	16	0.238	1.077	0.274	2.639	0.526	4.754	0.185	0.102	0.795	0.066	1.148	5.902	6.3
	Sum (%)	528	4.697	16.926	4.209	41.305	7.797	74.935	2.222	1.656	13.930	1.042	18.850	93.785	100.0
		—	5.0	18.0	4.5	44.0	8.3	79.9	2.4	1.8	14.9	1.1	20.1	100.0	—

### 3.2 林分的生物量与生产力

胶砂间作林每公顷总生物量为139.85 t,乔木层为100.91 t,占总生物量的72.2%,间作层为31.71 t,占5.2%,枯落物层为7.24 t,占5.2%;胶砂间作林乔木层与枯落物层的生物量均比纯胶林高。两种林分各器官木质生物量与皮生物量的比值及树皮率较接近,即木质总生物量为皮总生物量的5倍;整株树皮率在15.7%左右。

净生产量是指绿色植物在单位时间, 单位面积上有机物质的净生产能力。从表 4 可看出橡胶树各器官年平均净生产量依次为树叶>树干>树枝>根桩>树根; 砂仁为茎>叶>根>球果。胶砂间作林内砂仁的年净生产量略高于橡胶树。胶林在间作期间, 乔木层净生量比纯胶林高 4.8%, 总净生产量是纯胶林 1.88 倍。

表 4 林分的生物量与年净生产量

Table 4 Biomass and net production of plantation

林分类型 Type	层次 Layer	橡胶树生物量 Biomass(t/hm <sup>2</sup> )			木质/皮 Ratio of Wood/bark	树皮率 Rate of bark (%)	净生产量 Net production (t/m <sup>2</sup> ·a)	
		组分 Component	木质 Wood	皮 Bark				小计 Total
橡胶 皮 + 砂 仁 (RA)	乔木层 Tree	树枝 Branch	18.258	4.564	22.822	4.0	4.5	0.761
		树干 Truck	44.596	8.524	53.120	5.2	8.4	1.771
		树根 Root	2.563	1.774	4.337	1.4	1.8	0.144
		根桩 Stump	14.672	1.123	15.795	14.8	1.1	0.526
		树叶 Leaf	—	—	4.836	—	—	4.835
		小计 Total	80.089	15.985	100.910	5.0	15.8	8.037
		百分比(%)	—	—	72.2	—	—	33.2
	间作层 Intercrop	茎 Stem	—	—	16.781	—	—	5.594
		叶 Leaf	—	—	6.803	—	—	2.268
		根 Root	—	—	8.025	—	—	1.003
		果 Fruit	—	—	0.096	—	—	0.096
		小计 Total	—	—	31.705	—	—	8.961
		百分比(%)	—	—	22.6	—	—	36.9
	枯落物层 Litter	百分比(%)	—	—	7.236	—	—	—
合计 Sum		—	—	139.850	—	—	24.232	
百分比(%)		—	—	100.0	—	—	100.0	
纯 胶 林 (PP)	乔木层 Tree	树枝 Branch	16.926	4.210	21.136	4.0	4.5	0.704
		树干 Truck	41.305	7.797	49.112	5.3	8.3	1.637
		树根 Root	2.222	1.656	3.878	1.3	1.8	0.129
		根桩 Stump	13.930	1.042	14.972	13.4	1.1	0.499
		树叶 Leaf	—	—	4.697	—	—	4.697
		小计 Total	74.383	14.705	93.785	5.1	15.7	7.666
		百分比(%)	—	—	94.7	—	—	59.5
	枯落物层 Litter	百分比(%)	—	—	5.211	—	—	—
		合计 Sum	—	—	98.996	—	—	12.877
		百分比(%)	—	—	100.0	—	—	100.0

### 3.3 林分营养元素的含量分析

3.3.1 林分各层次各器官营养元素含量 林分各层次各器官营养元素含量列入表 5。胶砂间作林与纯胶林不同层次不同器官营养元素含量差异很大, 植物各器官中 N、K、Ca 的含量高于 P 和 Mg 的含量。胶砂间作林与纯胶林均以树叶含 N、P、S, 根桩皮含 Ca、Mg, 树根皮含 Fe 为最高; 去皮根桩含 Ca、Mg, 去皮树枝含 Fe, 去皮树干含 S 为最低。

为简明起见, 将乔木层各器官用序号代替即: 树叶为 1, 去皮树枝为 2, 去皮树干为 3, 去皮树根为 4, 去皮根桩为 5, 树干皮为 6, 树枝皮为 7, 树根皮为 8, 根桩皮为 9, 并将各种营养元素含量依递减顺序排列成图 1 形式。

两种林分除 Ca 元素各器官排列顺序较相似外, 其他元素的排列各不相同, 原因在于胶林间种砂仁后

改善了林分的生态环境和土壤养分状况,从而改变了养分在植物器官中的分配。

3.3.2 林分营养元素的积累、分布与比较 营养元素积累量为生物产量与各器官中营养元素含量之积,不仅取决于生物量的大小,而且取决于营养元素含量的高低。营养元素总积累量是林木与环境相互作用的结果。表 6 表明,胶砂间作林中,10 种营养元素每公顷积累量为 4240.57 kg,其中乔木层为 2214.22 kg,占总量的 52.22%,间作层为 1689.73 kg,占总量的 39.85%,枯落物层为 336.62 kg,占总量的 7.93%,可见在胶砂间作林中间作层的养分积累量占较大比例,乔木层的主导地位并不显著;纯胶

表 5 林分营养元素的含量

Table 5 The content of nutrient element for each component (g/Kg)

林分类型 Stand type	层次 Layer	组分 Component	常量元素 (Macro element)							微量元素 (Micro element)		
			N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu
橡 胶 + 砂 仁 (RA)	乔 木 层 Tree	树叶 Leaf	31.540	2.373	13.465	5.548	3.818	4.254	0.261	0.436	0.036	0.018
		树枝 Branch										
		木质 Wood	5.521	1.067	4.422	1.491	0.568	1.483	0.120	0.051	0.004	0.008
		皮 Bark	10.400	2.064	18.421	19.731	2.465	1.904	0.318	0.467	0.043	0.016
		枝干 Truck										
		木质 Wood	5.010	0.784	2.863	1.896	0.828	0.819	0.128	0.045	0.005	0.006
		皮 Bark	7.721	0.937	10.274	29.921	2.365	1.836	0.312	0.463	0.029	0.012
		树根 Root										
		木质 Wood	7.723	0.798	3.155	4.008	0.751	1.142	0.748	0.067	0.010	0.009
		皮 Bark	6.011	1.329	12.387	20.520	3.212	1.744	2.912	0.270	0.050	0.014
	根桩 Stump											
	木质 Wood	4.700	0.745	2.539	1.267	0.786	0.932	1.130	0.034	0.007	0.009	
	皮 Bark	7.060	0.992	9.509	35.361	5.253	0.910	1.850	0.377	0.066	0.011	
	间 作 层 Inter- crop	茎 Stem	4.680	0.599	14.876	5.086	1.571	0.717	0.157	0.595	0.038	0.008
	叶 Leaf	15.880	1.435	15.877	9.852	2.267	1.216	0.263	2.502	0.017	0.009	
	根 Root	6.870	0.986	18.703	3.000	4.354	1.990	1.747	0.986	0.081	0.010	
	球果 Fruit	9.600	1.808	48.617	3.628	3.005	0.926	3.344	1.126	0.069	0.028	
	枯茎、叶 Litter											
	Stem & Leaf	15.580	1.130	9.211	12.298	2.213	2.086	0.836	2.921	0.028	0.015	
	枯落物层 Litter	枯落物 Litter	20.490	0.980	9.150	12.350	3.550	—	—	—	—	—
纯 胶 林 (PP)	树叶 Leaf	21.000	2.298	11.275	9.653	3.229	4.263	0.144	0.425	0.067	0.016	
	树枝 Branch											
	木质 Wood	3.710	0.713	3.102	2.535	0.593	0.833	0.104	0.095	0.021	0.008	
	皮 Bark	8.640	1.144	8.954	15.754	1.413	1.143	0.318	0.329	0.052	0.013	
	树干 Truck											
	木质 Wood	3.880	0.263	1.403	2.253	0.400	0.307	0.287	0.052	0.011	0.009	
	皮 Bark	5.140	0.655	6.673	17.039	1.845	2.095	1.632	0.427	0.035	0.016	
	树根 Root											
	木质 Wood	5.500	0.351	2.965	2.969	1.211	0.680	0.524	0.119	0.012	0.010	
	皮 Bark	8.770	0.570	11.494	16.679	2.676	1.216	3.018	0.239	0.033	0.016	
根桩 Stump												
木制 Wood	5.090	0.434	1.364	1.304	0.708	0.970	0.672	0.045	0.009	0.010		
皮 Bark	7.560	0.553	4.884	32.113	4.743	1.200	1.628	0.311	0.046	0.014		
枯落物层 Litter	枯落物 Litter	20.11	0.610	2.600	12.240	4.010	—	—	—	—	—	

	胶砂间作 (RA system)									纯胶林 (PP system)								
	N :	1	6	4	7	9	8	2	3	5	1	8	6	9	4	7	5	3
P :	1	6	8	2	9	7	4	3	5	1	6	2	7	8	9	5	4	3
K :	6	1	8	7	9	2	4	3	5	8	1	6	9	2	4	3	5	7
Ca :	9	7	8	6	1	4	3	2	5	9	7	8	6	1	4	2	3	5
Mg :	9	1	8	6	7	3	5	4	2	9	1	8	7	6	4	5	2	3
S :	1	6	7	8	2	4	5	9	3	1	7	8	9	6	5	2	4	3
Fe :	8	9	5	4	6	7	1	3	2	8	7	9	5	4	6	3	1	2
Mn :	6	7	1	9	8	4	2	3	5	7	1	6	9	8	4	2	3	5
Zn :	9	8	6	1	7	4	5	3	2	2	1	6	9	7	8	4	3	5
Cu :	1	6	8	7	9	5	4	3	3	8	7	1	9	6	4	5	3	2

→
依次减少
→
依次减少

Decrease progressively
Decrease progressively

图1 乔木层各器官营养元素含量排列图

Fig. 1 Arrangement of organ of tree for ten nutrient elements

林中, 10 种营养元素每公顷累积量为 1718.07 kg, 其中乔木层占 88.0%, 枯落物层占 12.0%, 乔木层占主导地位。尽管两种林分乔木层生物量相差不大, 但养分的积累量却相差很大, 这主要是由于胶砂间作林中各器官养分含量普遍高于纯胶林的原故。乔木层植物器官中 10 种营养元素总量的大小顺序, 胶砂间作林为: 树干>树冠>根桩>树根, 纯胶林为: 树冠>树干>根桩>树根。

两种林分无论是乔木层, 还是枯落物层, 营养元素积累量高低排列次序是相同的, 乔木层为  $N > Ca > K > Mg > S > P > Fe > Mn > Zn > Cu$ ; 枯落物层为  $N > Mg > Ca > K > P$ ; 胶砂间作林中由于砂仁 K 含量较高(特别是根、茎中), 使整个林分(乔木层+间作层+枯落物层)K 积累量高于 N 的积累量; 胶砂间作整个林分养分积累量排列顺序为  $K > N > Ca > Mg > S > P > Fe > Mn > Zn > Cu$ , 纯胶林为  $N > K > Ca > Mg > S > P > Fe > Mn > Zn > Cu$ 。两种林分乔木层各器官 10 种营养元素中, 树干的 Ca 积累量为最高, 分别占乔木层总量的 11.5% 和 8.8%; 不论是乔木层、间作层, 还是枯落物层, P 的积累量都较低。主要原因在于林分土壤呈强酸性, 土壤中 Fe、Al 对 P 的强烈固定作用造成 P 供应水平偏低, 土壤中包闭态磷酸铁铝的含量占全 P 的 90% 以上, P 的缺乏是橡胶生长的主要限制因子之一<sup>[4]</sup>。橡胶林间种砂仁后, 尽管地面枯落物积存在养分有所提高, 但仍很低。主要营养元素中, 除 P 较低外, Mg 和 K 的积存量亦较低, 因此在经营橡胶林时, 对林分施磷、钾、镁肥, 同时保障枯落物不被收走, 以维持林地氮素的归还与利用是保林分营养平衡的重要措施。

橡胶林间种了砂仁后, 乔木层和枯落物层在养分的积累上有明显的增加。胶砂间作林较纯胶林营养元素含量的增加量(表 7)显示: 乔木层、枯落物层以及林分总量所积累的 10 种营养元素分别提高 46.5%, 63.2% 和 146.8%; 乔木层及林分总量中主要营养元素增加量排列次序为  $K > P > Mg > N > Ca$ 。不同层次不同器官中, 除 P, K, Mg, S 这 4 种营养元素含量有明显提高外, 其他几种元素既有增加量也有减少量, 无明显的规律。

#### 4 结论与建议

4.1 橡胶与砂仁间作复合生态系统每公顷现存生物量达 139.85 t/hm<sup>2</sup>, 其中乔木层占 72.2%, 间作层占 22.6%, 枯落物层占 5.2%。与同龄纯胶林相比, 林分总生物量提高 41.3%, 乔木层生物量提高 7.6%, 其中以树根的提高量为最大(12.0%), 根桩的提高量最小(5.5%); 枯落物层生物量提高 38.9%。两种林分乔木层中, 地上部分生物量占乔木层总量的 80%, 地下部分仅占 20%, 木质总生物量为皮总量的 5 倍。



表 7 两种林分营养元素含量比较(%)

Table 7 Comparison of accumulation of nutrient element in two plantation

组分 Component	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu	Total
树叶 Leaf	54.6	6.3	22.9	-40.8*	21.7	2.7	85.3	5.5	-45.2*	12.5	21.4
树枝 Branch	49.5	71.1	82.8	7.4	35.2	89.2	17.2	2.3	-92.5*	15.8	45.4
树干 Trunk	44.4	168.9	224.8	50.3	84.7	79.8	-65.9*	8.8	-34.7*	-24.5*	69.5
树根 Root	13.9	156.4	17.6	36.3	7.2	71.0	15.1	-1.5*	50.0	-20.0*	26.7
根桩 Stump	-2.4*	99.0	99.0	12.9	17.8	8.7	99.1	46.0	30.8	0.0	21.7
乔木层总量(NT)	38.5	91.9	104.4	26.2	45.5	49.9	-14.4*	5.1	-75.4*	-50.0*	46.5
枯落物层总量(NL)	41.5	123.0	388.6	40.1	22.9	—	—	—	—	—	63.2
林分总量(NW)	105.4	176.1	404.3	70.3	130.1	103.2	84.3	495.2	-46.2*	39.6	146.8

\*: 胶砂间作林较纯胶林营养元素含量减少量。Decrease of content of nutrient element in intercropping plantation.  
NT, Nutrient accumulation of tree layers; NL, Nutrient accumulation of litters; NW, Nutrient accumulation of whole plantation

4.2 胶砂间作林林分总净生产量为 24.232 t/hm<sup>2</sup>, 是纯胶林的 1.88 倍; 胶砂间作林乔木层的年均净生产量为 8.037 t/hm<sup>2</sup>, 比纯胶林高 4.8%; 两种林分橡胶树各器官年均净生产量高低次序均为树叶>树干>树枝>根桩>树根; 砂仁间作层的年均净生产量为 8.961 t/hm<sup>2</sup>·a, 略高于乔木层。

4.3 橡胶间种砂仁后, 不仅提高了林分的生物生产量, 同时也提高了养分的积累量。10 种营养元素的积累量胶砂间作林为 4240.57 t/hm<sup>2</sup>, 是纯胶林的 2.5 倍, 其中乔木层和枯落物层营养元素的积累量分别是纯胶林的 1.5 和 1.6 倍。常量元素积累量随层次和器官的不同差异较大, 而微量元素差异较小; 间种并未改变营养元素在乔木层和枯落物层中积累量高低排列次序。

4.4 尽管橡胶-砂仁间作复合生态系统可提高枯落物层养分的积存量, 但间作林分对养分的需求量相对纯胶林为大, 仅靠间作似乎达不到养分平衡的目的, 因此在经营橡胶林方面, 为促进林分的生长, 提高土地利用率和报酬率, 实行间作的同时, 对林分施肥是十分必要的。不仅要重施 P 肥, 也应考虑 N、Mg 和 K 肥的合理施用; 尽量不收走枯落物, 让其自然分解, 以求最大限度的提高林分养分自给水平。

## 参 考 文 献

- 1 陈绪和, 郭焰明. 橡胶木加工利用现状和展望. 世界林业研究, 1994, 7(4): 42~45
- 2 王宗训. 中国资源植物利用手册. 北京: 中国科学技术出版社, 1989
- 3 周再知, 郑海水等. 橡胶与砂仁间作小气候特点初探. 生态学杂志, 1994, 13(1): 27~31
- 4 杨晋奖, 郑海水等. 橡胶间种砂仁、咖啡对土壤肥力的影响. 林业科学研究, 1995, 8
- 5 南华农场. 南华农场志. 广东: 中山大学出版社, 1991
- 6 周再知, 郑海水等. 橡胶树生物量估测的数学模型. 林业科学研究, 1995, 8(6): 624~629
- 7 周世强, 黄金燕. 四川红杉人工林生物量和生产力的研究. 植物生态学与地植物学学报, 1991, 15(1): 9~16
- 8 叶炳等. 土壤理化分析方法. 北京: 科学出版社, 1963
- 9 何电源, 中国南方土壤肥力与栽培植物施肥. 北京: 科学出版社, 1994. 538~567