

不同树龄橡胶 (*Hevea brasiliensis*) 林细根 生物量的垂直分布和年内动态

林希昊^{1,2}, 王真辉^{1,*}, 陈秋波^{1,*}, 杨礼富¹

(1. 中国热带农业科学院橡胶研究所/农业部热带作物栽培生理学重点开放实验室, 海南儋州 571737;

2. 海南大学农学院, 海南儋州 571737)

摘要:用根钻法对幼树期(5a)、初产期(9a)和旺产期(16a)3个树龄橡胶树细根(<2 mm)生物量变化、垂直分布及动态变化进行研究。结果表明:5、9、16a 橡胶林 0~60cm 土层内细根总生物量分别为 2056.18、1557.42、1174.90 kg·hm⁻²。细根的生物量与橡胶树不同生长或生产期有密切的关系,但幼龄橡胶树细根生物量还容易受环境的影响而改变。橡胶树细根总生物量 80% 左右分布在 0~40cm 土层,细根生物量随着土层深度的增加而减少,回归模型分析以指数方程 $y = a \cdot e^{bx}$ (a, b 均为常数)拟合效果较好。通过不同月份细根生物量比较,发现橡胶树细根生物量年动态变化呈“双峰型”,5a、9a 橡胶树峰值分别出现在 4 月份和 8 月份;16a 橡胶树则出现在 6 月份和 10 月份,对环境因子的响应具有一定的滞后性。不同树龄橡胶树表层细根生物量年内变化不一致,其它土层细根生物量年内变化也呈“双峰型”,土层越深,变化越趋于缓慢。

关键词:橡胶树;细根生物量;垂直分布;年内动态

文章编号:1000-0933(2008)09-4128-08 中图分类号:Q143, Q945, Q948, S794.1 文献标识码:A

Vertical distribution and annual dynamics of fine roots of *Hevea brasiliensis* at different ages

LIN Xi-Hao^{1,2}, WANG Zhen-Hui^{1,*}, CHEN Qiu-Bo^{1,*}, YANG Li-Fu¹

1 Rubber Research Institute/Ministry of Agriculture Key Laboratory for Tropical Crop Physiology, CATAS, Danzhou, Hainan 571737, China

2 Agricultural School of Hainan University, Danzhou, Hainan 571737, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(9): 4128 ~ 4135.

Abstract: The variation of biomass, vertical distribution and annual dynamics of the fine roots of *Hevea brasiliensis* in 3 different ages, i. e., immature period (5a), early yielding period (9a) and peak yielding period (16a), were studied with the method of sequential root coring. The results showed that the total biomass of the fine roots of *H. brasiliensis* at 5a, 9a, 16a was 2056.18 kg·hm⁻², 1557.42 kg·hm⁻², 1174.90 kg·hm⁻² respectively, indicative of a close relationship with the tree ages although that of the immature trees was very sensitive to environmental factors as well. About 80% of the fine root biomass of the rubber tree was found present in the soil layer of 0—40cm and the remaining 20% decreasing with soil depth. Some 4 regression models were established for the estimation of the fine root biomass, of which the exponential model gave better results. Comparing of the fine root biomass in different months over the year discovered that the annual dynamics of the fine root biomass of rubber tree showed a double-peak type, i. e., April and August being the peaks for the trees at

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30660029)

收稿日期:2008-04-21; 修订日期:2008-06-03

作者简介:林希昊(1982~),男,广东罗定人,硕士生,主要从事森林培育研究. E-mail:linxihao@china.com.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wzh-36@163.com; E-mail: catas_chenqb@yahoo.com

Foundation item: The project was financially supported by National Natural Science Fund Projects of China (No. 30660029)

Received date: 2008-04-21; **Accepted date:** 2008-06-03

Biography: LIN Xi-Hao, Master candidate, mainly engaged in cultivation and ecology of plantation. E-mail:linxihao@china.com.cn

5a and 9a while June and October for the trees at 16a, much less responsive to environmental changes. Monthly variation of the fine root biomass in the surface soil layer were different among the trees of various ages, but in the subsoil layer a double-peak pattern was recorded with milder variation in deeper soil.

Key Words: *Hevea brasiliensis*; fine root biomass; vertical distribution annual dynamics

根系是森林群落的重要组成部分,是植物直接与土壤接触的器官,在森林生态系统中起着固定植株作用,并从土壤中吸收水分和溶解于水中的矿质元素,供植物生长发育所利用。在根系中,细根是最活跃、最敏感的部分,研究表明细根的更新数量能够产生 5 倍于地上部分凋落物的量,而且细根中养分浓度也高于叶片养分浓度^[1]。细根的死亡和分解过程向土壤中释放大量的营养物质,同时也构成生物地球化学循环的重要环节^[2],细根的生命影响树木对光合产物的地下分配,也决定了被归还到土壤中的碳和养分的数量,直接影响生态系统中养分循环过程^[3]。在整个森林生态系统中,30%~50%的碳循环是通过细根生长、分解和周转实现的,从而影响森林生态系统地上部分生物生产力和碳循环过程^[2,4]。因此,细根周转形成的地下凋落物是土壤碳和养分的重要来源。

橡胶树(*Hevea brasiliensis* Mull. Arg.)是我国热带地区广泛种植的典型热带经济作物,早在 20 世纪中期,我国已经开始对橡胶树根系的研究^①。随着新品种无性系的推广以及割制改革的实施,近年来对橡胶树根系研究也有报道^[5~7],但由于对根系研究技术的制约,开展橡胶树细根研究工作量较大,因此,在自然条件下对橡胶树细根深入的研究及相关的文献较少。本文以大面积推广的橡胶新品系为材料,用根钻法对幼树期(5a)、初产期(9a)和旺产期(16a)3 个不同生长或生产期橡胶树细根的生物量变化、垂直分布及动态进行研究,对于深入认识橡胶林的地下生物量产量及其与经营活动之间的相互关系具有重要意义。

1 试验区的地理环境及状况

试验区位于海南省儋州市中国热带农业科学院试验场三队(19°33'N、109°28'E),平均海拔 134m,区内为中国热带农业科学院橡胶研究所橡胶速生高产现代化试验林,地势平缓,片麻岩发育的砖红壤,土层深厚,质地粘重。平均土壤 pH 为 4.48、有机质为 1.02%、全氮为 0.04%、速效磷为 13.44mg/kg、速效钾为 6.65mg/kg。历史年平均气温 23.2~23.9℃,日平均气温 $\geq 15^{\circ}\text{C}$ 的活动积温 7500~8500℃,最冷月平均气温 16.9~18.0℃,年降水量 1500~2000mm。试验区为二代胶林,单一人工群落,群落结构简单,林下以多年生草本植物及当年生草本植物,禾本科草本植物居多,极少见亚灌木、灌木。

2 材料与研究方法

2.1 材料

热研 7-33-97 是中国热带农业科学院橡胶研究所根据我国橡胶树选育种目标培育出来的一个抗性较强的速生高产品种,具有生长快、开割率高、胶乳稳定性和再生物质基础较好的特点,是我国大规模推广的橡胶树新品种^[8]。

试验选用 5 年生(5a)、9 年生(9a)及 16 年生(16a)热研 7-33-97 品系橡胶树,种植株行距为 3m $\times$ 7m。5a 橡胶树平均胸径为 37.25cm,尚未开割;9a 橡胶树平均胸径为 52.65cm,已开割 2a;16a 橡胶树平均胸径为 61.04cm,已经开割 9a。

2.2 标准株的选择与采样

试验区内选取 5、9、16a 的 3 块热研 7-33-97 品系橡胶林地,在一个 100m $\times$ 100m 的样地内以对角线选取 30 棵样株,每株检尺,从中选择出 5 棵平均样株,并作标记。从 2006 年 12 月至 2007 年 10 月进行细根样品的采集,每 2 个月采样 1 次,每次采样时间为当月下旬,采样前要求连续 3d 晴朗无雨。采样方法参照李鹏^[9]提

① 华南亚热带作物科学研究所橡胶栽培生态组. 橡胶树根系的研究 1959~1963 工作总结. 华南亚热带作物科学研究所档案室. 1965.

出的改良 1/4 样圆法,并根据橡胶林地实际情况,在保证数据收集的精度前提下,对采样方法作了改进,以尽量减少对橡胶树根系的伤害。以橡胶树树干为中心,在两边行间距树干 1.0m,半径为 0.5m 的圆环上沿“S”形分别随机作 5 个标志,用直径为 4.0cm 土钻在圆环 5 个标记上钻取土芯,同一土层装在一个袋子,写上标签带回实验室。由于以前的研究显示幼龄及老龄橡胶树根系主要都分布在 0~40cm 土层中^[10],所以为了能准确测定橡胶树细根生物量,本实验拟在 0~60cm 垂直深度采样,每 10cm 一层,共取 6 层。用同样的方法在两边行间距树干于 2.5m 正 60°圆环(圆环半径为 0.5m)上钻取土芯。每个树龄样地共采 20 个点,每个点 6 个土层,共 120 个样。

2.3 细根的处理与生物量的测定

用水浸泡样品 4 h,倒入 20 目筛网用水反复冲洗几次,洗净后,用镊子挑出 <2mm 的橡胶树细根,并根据细根的颜色、外形、弹性等区分活根系和死根系^[11],分别装入纸袋,在 80℃ 条件下烘至恒重,用万分之一天平称重。

细根的生物量又叫现存量,泛指单位面积上所有生物有机体的干重^[12]。根据定义,采用公式(1)计算其生物量,并将生物量单位换算成标准单位 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$:

$$B = \frac{m \times 10^5}{\pi R^2} \quad (1)$$

式中, B 为细根生物量($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$); m 为平均每个土芯根重(g); R 为土钻的半径(cm)

2.4 统计方法

实验数据用 Microsoft Office Excel 2007(微软公司)进行初步统计分析、作图,并用 SAS 9.0(美国 SAS 软件研究所)进行方差分析、回归分析及回归方程的拟合。

3 结果与分析

3.1 不同树龄橡胶树细根生物量的差异

细根生物量与树龄有着密切关系,如分析发现木麻黄的树龄与细根生物量之间有显著的回归关系^[13]。本研究对橡胶树 0~60cm 土壤深度采样发现(图 1),不同树龄橡胶树细根生物量差异很大,5a 橡胶树细根总生物量为 $2056.18\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,其中活细根 $1620.30\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,占 78.8%,死细根 $435.88\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,占 21.2%;9a 和 16a 橡胶树细根总生物量分别为 $1557.42\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $1174.90\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,活细根生物量分别为 $1173.95\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (75.4%)、 $961.36\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (79.3%),死细根分别为 $383.47\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (24.6%)、 $243.54\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (20.7%)。不同树龄橡胶树细根的总生物量、活细根生物量以及死细根生物量变化规律一致为:5a > 9a > 16a。方差分析

表明,5a 橡胶树细根总生物量及活细根生物量与 9、16a 橡胶树差异显著,9、16a 橡胶树间差异不显著;5、9a 橡胶树死细根生物量显著地高于 16a 橡胶树,其中 5a 橡胶树死细根生物量比 9a 高,但差异不显著。

3.2 不同树龄橡胶树细根生物量的垂直变化特征

从表 1 可以看出,在土壤垂直剖面上,不同树龄橡胶树各层细根生物量从大到小依次为 5、9、16a,而且最大值都出现在 10cm 土层,分别为 612.59 、 412.83 、 $305.91\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。随着土层深度的增加,不同树龄细根生物量均逐渐减少,至 60cm 土层,细根生物量分别降到 153.66 、 153.64 、 $117.56\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。结果显示,5、9、16a 橡胶树细根最主要分布在 0~40cm 土层中,分别占细根总生物量的 82.7%、78.7%、78.8%,其中活细根生物量分别占细根总生物量的 65.5%、58.7%、62.4%。不同树龄橡胶树细根生物量各层间差异性不一样,5a 橡胶树

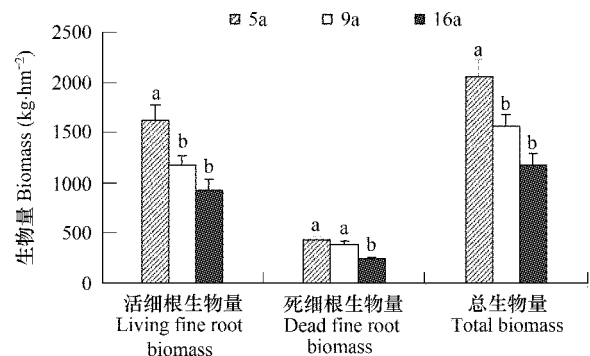


图 1 不同树龄橡胶树细根生物量比较(±SE)

Fig. 1 The comparison of fine root biomass of *H. Brasiliensis* at different ages (±SE)

10cm 土层细根生物量与其它各土层细根生物量差异达到极显著水平,20cm 土层细根生物量显著高于 40、50、60cm 土层细根生物量,30cm 土层显著高于 50、60cm 土层,40、50、60cm 三个土层间差异不显著。9、16a 橡胶树相邻两土层间细根生物量差异不显著,其中 10cm 与 30cm 土层细根生物量差异显著。40、50、60cm 土层细根生物量差异显著低于 10cm 层,但各相邻土层间差异不显著。

受到土壤理化性质以及土壤水分、养分含量的影响,细根生物量的垂直分布随着土层加深而减少,或呈指数递减规律^[14,15]。通过用不同的曲线函数模型对不同树龄橡胶树细根生物量(y)与土层深度(x)进行拟合,并以 F 值、 R^2 评定模型的拟合程度,选出最适合估计橡胶树细根生物量垂直分布回归模型。表 2 分析结果表明,指数模型 $y = a \cdot e^{bx}$ 拟合效果最好,3 个树龄的回归模型分别为: $y = 785.1698e^{-0.02733x}$ (F 值 = 152.16, $R^2 = 0.8446$, $P < 0.0001$)、 $y = 469.92354e^{-0.01924x}$ (F 值 = 67.96, $R^2 = 0.7082$, $P < 0.0001$)、 $y = 353.62251e^{-0.0193x}$ (F 值 = 59.29, $R^2 = 0.6792$, $P < 0.0001$)。因此,用指数模型 $y = a \cdot e^{bx}$ 对不同树龄橡胶树细根生物量与土壤深度结果比较可靠。

表 1 不同树龄橡胶树不同土层细根生物量 ($\pm$ SE)Table 1 Fine root biomass of *H. Brasiliensis* at different layers and ages ($\pm$ SE)

土层 Depth (cm)	5a		9a		16a	
	生物量 Biomass ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	5%	生物量 Biomass ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	5%	生物量 Biomass ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	5%
10	612.59 $\pm$ 70.28	a	412.83 $\pm$ 64.15	a	305.91 $\pm$ 41.53	a
20	457.00 $\pm$ 39.70	b	319.93 $\pm$ 36.54	ab	250.79 $\pm$ 37.88	ab
30	357.19 $\pm$ 31.67	bc	280.47 $\pm$ 23.96	bc	214.89 $\pm$ 29.74	bc
40	273.93 $\pm$ 37.48	cd	212.08 $\pm$ 17.51	cd	153.75 $\pm$ 10.36	cd
50	201.82 $\pm$ 18.86	d	178.48 $\pm$ 15.25	cd	132.00 $\pm$ 9.22	d
60	153.66 $\pm$ 8.27	d	153.64 $\pm$ 10.93	d	117.56 $\pm$ 6.56	d

土层表示 0 ~ 10cm、10 ~ 20cm、20 ~ 30cm、0 ~ 40cm、40 ~ 50cm、50 ~ 60cm 的土壤深度,下同;同列字母表示在 $P > 0.05$ 时差异显著性 the soil layer 10cm, 20cm, 30cm, 40cm, 50cm, 60cm indicates 0 ~ 10cm, 10 ~ 20cm, 20 ~ 30cm, 0 ~ 40cm, 40 ~ 50cm, 50 ~ 60cm, the same below; the letters in the same column indicate that the difference at the 0.05 level

表 2 不同树龄橡胶树细根生物量深度分布的回归方程

Table 2 The regression equation between fine root biomass and soil depth of *H. Brasiliensis* at different ages

树龄 Ages (a)		$\frac{1}{y} = a + \frac{b}{x}$	$y = a + b \ln x$	$y = a + b \sqrt{x}$	$y = ae^{bx}$
5	a	0.00565	1218.44521	915.99808	785.16980
	b	-0.04647	-257.63906	-100.42278	-0.02733
	F 值	30.63	107.12	107.20	152.16
	R^2	0.5224	0.7928	0.7929	0.8446
	P	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
9	a	0.00612	757.10716	585.55354	469.92354
	b	-0.03998	-146.37201	-57.10120	-0.01924
	F 值	27.30	48.22	48.46	67.96
	R^2	0.4937	0.6326	0.6338	0.7082
	P	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
16	a	0.00818	570.76346	442.69251	353.62251
	b	-0.05367	-110.30663	-43.24415	-0.01930
	F 值	28.27	41.84	43.09	59.29
	R^2	0.5024	0.5991	0.6061	0.6792
	P	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

x 为土层深度 (cm), y 为不同深度细根生物量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$); a 、 b 为常数 x is the soil depth (cm), y is fine root biomass at different soil depth, a and b are constants

3.4 不同树龄橡胶树细根总生物量年内变化

图2可以看出不同树龄橡胶树细根总生物量动态变化情况。2006年12月份至2007年10月份,5a、9a橡胶树细根生长在8月份达最高峰,4月份细根生长出现另一个峰值,细根生长呈“双峰型”变化趋势,总生物量出现低谷为2月份和6月份,且细根总生物量变化较大。16a橡胶树细根生长也呈“双峰型”变化趋势,但峰值出现时间比其它两个树龄橡胶树迟,分别在10月份和6月份,且细根总生物量变化相对平稳,总生物量出现低谷为12月份和8月份。

图3至图5看出,5a橡胶树10、30cm土层细根生物量基本呈“单峰型”,峰值出现在8月份;9、16a及5a其它土层细根生物量呈“双峰型”,最大峰值出现在8~10月份,小峰出现在2~4月份;50、60cm土层的小峰值不明显,变化相对于上层土壤比较平缓。9a橡胶树细根生物量小峰均出现在4月份;不同土层最大峰值出现时间有差异,10、20cm土层出现在8月份,其他土层则在10月份出现。16a橡胶树细根生物量,除了60cm土层峰值出现在4月份和8月份外,最大峰值出现在10月份,10、20、30cm三个土层小峰出现在6月份,40、50cm土层则在4月份。

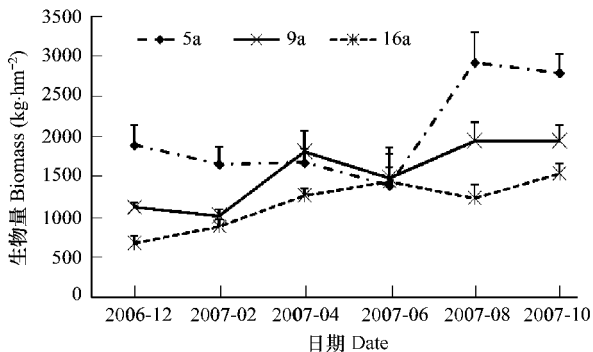


图2 不同树龄橡胶树细根总生物量动态特征

Fig. 2 Dynamics of total fine root biomass of *H. brasiliensis* at different ages

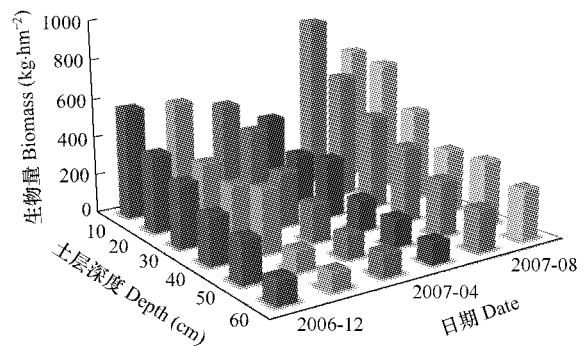


图3 5a 橡胶树细根生物量不同土层动态特征

Fig. 3 Dynamics of fine root biomass at 5a *H. brasiliensis* at different layers

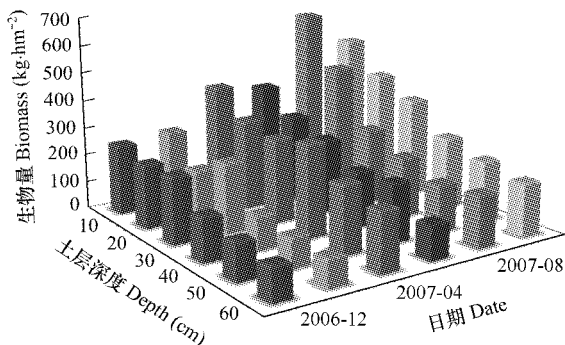


图4 9a 橡胶树细根生物量不同土层动态特征

Fig. 4 Dynamics of fine root biomass at 9a *H. brasiliensis* at different layers

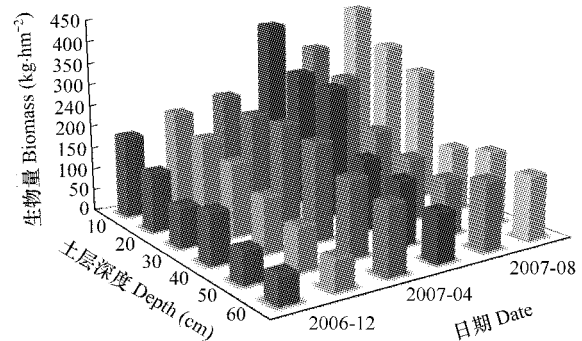


图5 16a 橡胶树细根生物量不同土层动态特征

Fig. 5 Dynamics of fine root biomass at 16a *H. brasiliensis* at different layers

4 讨论与结论

4.1 不同树龄橡胶树细根生物量差异

Reiji 等^[16]对4、15、30、41年生以及88年生的柳杉细根生物量进行观察发现,细根生物量先随着树龄的增大而增加,当到一定树龄后细根生物量下降直到平稳。在本研究中,通过对幼树期(5a)、初产期(9a)和旺

产期(16a)3个树龄橡胶树0~60cm土壤深度采样观测表明,不同树龄橡胶树细根生物量大小均为:5a>9a>16a。细根的生物量与橡胶树处于不同的生长或生产期有密切的关系,但实质是受割胶经营活动的影响所致。据观测,产胶期橡胶树连续割胶,大量的胶乳排出,降低了用于生长的干物质分配率,导致了橡胶树生长缓慢。一般不同品系的橡胶幼树,开割头两年所产的橡胶占光合产物的3%~11%,以后逐渐增加到20%以上^[17]。产胶期橡胶树需要更多的产物合成胶乳,光合产物及营养物质向下运输分配率减少,根系生长缓慢,因此,导致产胶期橡胶树细根生物量少于幼树期,当橡胶树进入旺产期后,细根生物量显得更少。据房秋兰^[18]在云南西双版纳对20a橡胶树的研究,其细根生物量比本研究的高。橡胶树细根总生物量在不同地区产生差异的原因,既有品系的原因,也可能由于地域土壤肥力差异及气候条件不一致,肥沃的土壤有利于橡胶树细根生长,这种差异也可能与采样的方法和工具有关系。

4.2 不同树龄橡胶树细根生物量垂直特征

有研究表明,对于浅根型树种,林木大部分根系位于50cm土层以上,且细根多集中于枯落物层和10cm以上矿质土壤表层^[19]。根系分布最大深度还受土壤结构、土层厚度和土壤水分与养分资源状况影响^[20]。同一森林立地条件下,土壤资源的有效性在不同层次中具有明显差别,上下土层在土壤养分、水分、温度、透气性等方面的差异,导致细根生长动态和生物量具有垂直分布特点^[21~25]。本研究,在垂直深度上,橡胶树细根总生物量80%左右都分布在0~40cm土层,25%以上分布在10cm土层,随深度的增加,细根生物量逐渐减少。在0~60cm土层中,不同树龄橡胶树细根分布垂直变化也不一样,5a橡胶树不同土层细根生物量,明显高于其它2个树龄橡胶树,随着土层深度的增加,细根生物量的差异逐渐减缓。Richard等^[26]认为植物根系分布特征不仅与本身的遗传特性有关,所处的土壤环境对其也有明显影响,并且具有很大的时空异质性。

王迪海^[27]等对安塞刺槐细根密度随土壤深度变化的研究,表现为细根密度随土壤深度变化成倒“J”型曲线,可以用指数模型表示。杨丽韞^[15,28]等发现长白山原始阔叶红松林及其次生林的主要木本细根在土壤中的垂直分布均符合指数方程。许多研究也认为根系生物量垂直变化均呈指数函数下降^[29~31]。本研究中通过用SAS统计软件对不同树龄橡胶树细根总生物量回归分析,指数模型 $y = a \cdot e^{bx}$ (a, b 均为常数)拟合效果最好,能较好的估算橡胶树不同土层橡胶树细根总生物量变化。5、9、16a橡胶树细根总生物量回归方程模型分别为: $y = 785.1698e^{-0.02733x}$ ($R^2 = 0.8446$)、 $y = 469.92354e^{-0.01924x}$ ($R^2 = 0.7082$)、 $y = 353.62251e^{-0.0193x}$ ($R^2 = 0.6792$),与许多研究结果具有一致性。

4.3 不同树龄橡胶树细根生物量动态特征

Solomon等^[32]用内生长法对两种成熟*Ensete ventricosum*细根生长量进行研究,发现细根生长量具有一定的季节性变化,在雨季末期细根生物量达到最高峰,干旱季节或者少雨季节细根生物量降低。Silva等^[33]研究表明,植物细根为了适应不同季节的环境条件变化,细根分布也相应地进行调整。许多研究表明,细根生物量具有明显的季节节律,一年中常出现1或2个高峰,或变化不明显;峰值出现时间在春季展叶期前后、晚夏或秋季,但受树种特性及外界环境条件(如降水量、土温、养分有效性等)的综合影响,细根生物量动态会有一定程度的波动^[34~37]。本研究发现,橡胶树细根生物量年变化呈“双峰型”,但不同树龄橡胶树峰值出现的时间有差异,5、9a橡胶树细根生长在8月份达最高峰,小峰出现在4月份,16a橡胶树峰值出现的时间比5、9a橡胶树迟,分别在10月份和6月份,最小值出现的时间也相应推迟。不同土层橡胶树细根生物量年内变化同样呈“双峰型”,但表层土壤中橡胶树细根生物量变化强烈,随着土层的加深变化趋于减缓,树龄越大,橡胶树细根对环境响应显得越缓慢。据华南热带作物研究院早期观察结果显示,橡胶树根系在一年中,随季节变化呈规律性的变化,通常以高温多雨季节生长较快^①。在海南,橡胶树根系在4~10月生长较快,其中5及7~8月份生长最快,11月中旬至翌年3月份生长缓慢,平均生长速度仅为4~10月份的37%^{[38]①}。冠幅可以影响阳光和水分到达地面的量,土壤表面受日照和水分的影响明显。9、16a橡胶树比较茂盛,冠幅较大,可以阻止了

① 华南亚热带作物科学研究所橡胶栽培生态组. 橡胶树根系的研究 1959~1963 工作总结. 华南亚热带作物科学研究所档案室. 1965.

大部分光和部分水分到达地面,土壤理化性质变化较弱,对细根分布的影响较小。因此,5a 橡胶树细根生物量动态变化幅度较 9、16a 橡胶树大,随着树龄增长,冠幅增大,橡胶树细根生物量动态变化越趋于平稳。

综上所述,本研究对不同树龄(即生长或生产期)橡胶树细根的生物量变化、垂直分布及动态进行研究,发现橡胶树细根生物量与不同生长或生产期有密切的关系,它会随着树龄增大而减少,并趋于平缓;细根生物量最高值出现的树龄介于 5a 与 9a 之间,也许是橡胶树开割时的树龄(7~8a)。在 0~60cm 土层中,橡胶树细根生物量随着土层深度的增加,其差异逐渐减缓。另外,橡胶树细根总生物量年内变化趋势呈“双峰型”,不同土层中,细根生物量也具有同样的变化趋势;处于不同生长或生产期橡胶树细根总生物量年内变化趋势不一致,随着树龄的增大,峰值不明显,而且细根生长对环境变化的响应产生一定的滞后性。

References:

- [1] Meier C E, Grier C C, Cole D W. Below-and Above Ground N and P Use by *Abies Amabilis* Stands. *Ecology*, 1985, 66:1928—1942.
- [2] Vogt K A, Vogt D J, Palmiotto P A, *et al.* Review of root dynamics in forest ecosystems grouped by climate, climatic forest type and species. *Plant and Soil*, 1995, 187:159—219.
- [3] Yu S Q, Wang Z Q, Shi J W, *et al.* Estimating fine root longevity of *fraxinus mandshurica* and *larix gmelinii* using mini-rhizotrons. *Journal of Plant Ecology*, 2007, (1):102—109.
- [4] Oscar J, Valverde-Barrantes, James W. Raich, Ann E. Russe. Fine-root mass, growth and nitrogen content for six tropical tree species. *Plant and Soil*, 2007, 290:357—370.
- [5] Liu J L. Effect of Phosphor on the Growth of Roots of *Hevea Brasiliensis*. South China University of Tropical Agriculture, 2006.
- [6] Hua Y G, Lin Q H, Luo W, *et al.* Effect of Nitrogen Supplying on the Growth of Roots of *Hevea Brasiliensis*. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(6):421—424.
- [7] Gong L D, An F, Lin W F, *et al.* Responses of Leaf and Root Characteristics of 4 *Hevea Brasiliensis* Clones Seedlings to Water Stress. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2007, 23(11):371—374.
- [8] Huang H S, Liang M H, Wu D T, *et al.* Selection and breeding of a moderate scale clone SCUTA 7-33-97. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 1994, 15(2):1—6.
- [9] Li P, Li Z B, Zhao Z. Study of the method for determining sampling number for root investigation. *Research of Soil and Water Conservation*, 2003, 10(1):147—149.
- [10] Liu J L, Liu J Y, Luo W, *et al.* Distribution of Nutrient Roots of Rubber Trees Close to Manure Hole in Rubber Plantation. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2006, 27(3):5—10.
- [11] Mary Anne, Sword Sayer, James D Haywood. Fine root production and carbohydrate concentrations of mature longleaf pine (*Pinus palustris* P. Mill.) as affected by season of prescribed fire and drought. *Trees Structure and Function*, 2006, (2):165—175.
- [12] Productivity and biomass of forest ecosystem on China. in: FENG Zhong-wei *et al.* Beijing: Science Press, 1999. 03.
- [13] Zhang L H. Ecology of Fine Roots of *Casuarina Equisetifolia* Plantation on Coastal Sand. Fujian Agriculture and Forestry University, 2006.
- [14] Zhang X Q. Fine-root Biomass, Production and Turnover of Trees in Relations to Environmental Conditions. *Forest Research*, 2001, 14(5):566—573.
- [15] Yang L Y, Li W H. Fine root distribution and turnover in a broad-leaved and Korean pine climax forest of the Changbai Mountain in China. *Journal of Beijing Forestry University*, 2005, 27(2):10—14.
- [16] Reiji Fujimaki, Ryunosuke Tatenno, Naoko Tokuchi. Root development across a chronosequence in a Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) plantation. *Journal of Forest Research*, 2007, (4):96—102.
- [17] Rubber culture in the northern part of tropkal area. He Kang, Huang Zhong-dao. Guangdong: Guangdong Science and Technology Press, 1987. 417—424.
- [18] Fang Q L, Sha L Q. Study of fine roots biomass and turnover in the rubber plantation of Xishuangbanna. *Journal of Central South Forestry University*, 2005, (5):41—44.
- [19] Rytter R M, Hansson A C. Seasonal amount, growth and depth distribution of fine roots in an irrigated and fertilized *Salix viminalis* L. plantation. *Biomass and Bioenergy*, 1996, 11(2-3):129—137.
- [20] Schenk H J, Jackson R B. The global biogeography of roots. *Ecol Mono*, 2002, 72:311—328.
- [21] Cheng Y H, Han Y Z, Wang Q C, *et al.* Seasonal dynamics of fine root biomass, root length density, specific root length and soil resource availability in a *Larix Gmelini* plantaion. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(3):403—410.
- [22] Schenk H J, Jackson R B. The global biogeography of roots. *Ecol Mono*, 2002, 72:311—328.
- [23] Zhao Z, Li P, Wang N J. Distribution patterns of root systems of main planting tree species in Weibei Loess Plateau. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(1):37—39.
- [24] Zhang Z S, Li X R, Zhang J G, *et al.* Root growth dynamics of *Caragana korshinskii* using minirhi-zotrons. *Journal of Plant Ecology*, 2006, 30

(3):457—464.

- [25] Cheng X R, Huang M B, Shao M A. Vertical distribution of representative plantation's fine root in wind-water erosion crisscross region, Shenmu. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2007, 27(2):321—327.
- [26] Richard J, Norby, Ledford J, *et al.* Fine-root production dominates responses of a deciduous forest to atmospheric CO₂ enrichment. *PNAS*, 2004, 101:9689—9693.
- [27] Wang D H, Zhao Z, Xue W P, *et al.* Effect of Soil Water Environment on Vertical Fine Root Distribution of *Robinia pseudoacacia*. *Research of Soil and Water Conservation*, 2005, 12(5):200—202.
- [28] Yang L Y, Luo T X, Wu S T. Fine root biomass and its depth distribution across the primitive Korean pine and broad-leaved forest and its secondary forests in Changbai Mountain, northeast China. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(9):3609—3617.
- [29] Zhang Y Q, Zhu Q K, Qi S, *et al.* Vertical distribution characteristics of root system of several shrub species on terrace banks. *Journal of Beijing Forestry University*, 2006, 28(2):34—38.
- [30] Page E R, Gerwitz A. Mathematical models, based on diffusion equations, to describe root systems of isolated plants, row crops, and swards. *Plant Soil*, 1974, 41:243—254.
- [31] Gerwitz A, Page E R. An empirical mathematical model to describe plant root systems. *Appl Ecol*, 1974, 11:773—781.
- [32] Solomon Zewdie, Masresha Fetene, Mats Olsson. Fine root vertical distribution and temporal dynamics in mature stands of two enset (*Enset ventricosum* Welw Cheesman) clones. *Plant and Soil*, 10.1007/s11104-008-9554-z.
- [33] Silva S, Francisco C, Rego. Root distribution of a Mediterranean shrubland in Portugal Joaquim. *Plant and Soil*, 2003, 255:529—540.
- [34] Wen D Z, Wei P, Kong G H, *et al.* Production and turnover rath of fine root lower subtropical forest sites at DingHuShan. *Acta Phytocologica Sinica*, 1999, 23(4):361—369.
- [35] Mc Claugherty C A, Aber J D, Melillo J M. The role of fine root in the organic matter and nitrogen budgets of two forested ecosystems. *Ecology*, 1982, 3(5):1481—1490.
- [36] Santantonio D Grace J C. Estimating fine-root production turnover from biomass and decomposition data: a compartment-flow model. *Canadian Journal of Forestry Research*, 1987, 17:900—908.
- [37] Hendrick R L, Pregitzer K S. Temporal and depth-related patterns of fine root dynamics in northern hardwood forests. *Ecology*, 1996, 77(1):167—176.
- [38] Rubber Meteorology. Wang Li-fu. BeiJing: China Meteorological Press, 1989.

参考文献:

- [3] 于水强,王政权,史建伟,等.水曲柳和落叶松细根寿命的估计. *植物生态学报*, 2007, 31(1):102~109.
- [5] 刘俊良. 磷肥对橡胶树根系生长发育影响初步研究. 华南热带农业大学, 2006.
- [6] 华元刚,林清火,罗微,等. 氮素供应对橡胶树根系生长的影响. *中国农学通报*, 2006, 22(6):421~424.
- [7] 宫丽丹,安锋,林位夫. 4个品系橡胶树实生苗叶片及根系对水分胁迫的反应. *中国农学通报*, 2007, 23(11):371~374.
- [8] 黄华孙,梁茂寰,吴动通,等. 中规模推广级橡胶树优良品种热研 7-33-97 的选育. *热带作物学报*, 1994, 15(2):1~6.
- [9] 李鹏,李占斌,赵忠. 根系调查取样点数确定方法的研究. *水土保持研究*, 2003, 10(1):147~149.
- [10] 刘俊良,刘建云,罗微,等. 橡胶园施肥穴胶树营养根分布规律研究初报. *热带作物学报*, 2006, 27(3):5~10.
- [12] 中国森林生态系统的生物量和生产力. 冯宗炜等著. 北京:科学出版社, 1999.
- [13] 张立华. 海岸沙地木麻黄人工林细根生态学研究. 福建农林大学, 2006.
- [14] 张小全. 环境因子对树木细根生物量、生产与周转的影响. *林业科学研究*, 2001, 14(5):566~573.
- [15] 杨丽韞,李文华. 长白山原始阔叶红松林细根分布及其周转的研究. *北京林业大学学报*, 2005, 27(2):10~14.
- [17] 热带北缘橡胶树栽培. 何康,黄宗道 著. 广东:广东科技出版社, 1987. 417~424.
- [18] 房秋兰,沙丽清. 西双版纳橡胶林细根生物量及其周转. *中南林学院学报*, 2005, (5):41~44.
- [21] 程云环,韩有志,王庆成,等. 落叶松人工林细根动态与土壤资源有效性关系研究. *植物生态学报*, 2005, 29(3):403~410.
- [23] 赵忠,李鹏,王乃江. 渭北黄土高原主要造林树种根系分布特征的研究. *应用生态学报*, 2000, 11(1):37~39.
- [24] 张志山,李新荣,张景光,等. 用 Minirhizotrons 观测柠条根系生长动态. *植物生态学报*, 2006, 30(3):457~464.
- [25] 成向荣,黄明斌,邵明安. 神木水蚀风蚀交错带主要人工植物细根垂直分布研究. *西北植物学报*, 2007, 27(2):0321~0327.
- [27] 王迪海,赵忠,薛文鹏,等. 水分生态环境对刺槐细根垂直分布的影响. *水土保持研究*, 2005, 12(5):200~202.
- [28] 杨丽韞,罗天祥,吴松涛. 长白山原始阔叶红松(*Pinus koraiensis*)林及其次生林细根生物量与垂直分布特征. *生态学报*, 2007, 27(9):3609~3617.
- [29] 张宇清,朱清科,齐实. 梯田生物埂几种灌木根系的垂直分布特征. *北京林业大学学报*, 2006, 28(2):34~38.
- [34] 温志达,魏平,孔国辉,等. 鼎湖山亚热带森林细根生产力与周转. *植物生态学报*, 1999, 23(4):361~369.
- [38] 橡胶树气象. 王利溥 著. 北京:气象出版社, 1989.