

# 木麻黄弗兰克氏菌接种技术与接种效果的研究\*

康丽华

**摘要** 本文对木麻黄接种弗兰克氏菌的时间、方法、接种剂、接种量、菌株混合接种及施肥与接种效果进行了研究。结果得出: 最适接种时间为幼苗期; 接种方法为切根接种法; 海藻酸钙胶囊干、湿菌剂、草炭、蛭石菌剂与液体接种剂这五种接种剂之间的接种效果没有显著差异; 接种量为高接种量较好; 弗兰克氏菌与芽孢杆菌混合接种的效果较弗兰克氏菌单接种的效果好; 施营养元素 P、Mg、Ca、Co 和在红壤中加石灰能促进木麻黄的生长与结瘤; 接种弗兰克氏菌不仅明显地提高基质中全 N 与速效 N 的含量, 而且也增加了有机质、速效 K 的含量。证明接种弗兰克氏菌能改善土壤营养成分的含量。

**关键词** 木麻黄 弗兰克氏菌 接种技术 接种效果

木麻黄(*Casuarina* spp.) 是华南沿海地区防护林的重要树种之一。在自然条件下其根系与土壤中的放线菌——弗兰克氏菌(*Frankia*) 共生形成根瘤, 但土壤中的弗兰克氏菌, 有些是低效且共生能力差的菌株, 影响了木麻黄共生固氮潜力的发挥。而人工接种经过筛选的高效固氮弗兰克氏菌对木麻黄的促生作用已被证实<sup>[1-3]</sup>。作为人工接种成败的关键——接种技术(包括接种方法、接种时间、接种剂类型、接种量等) 越来越受到重视, 目前, 国内外对根瘤菌的接种技术研究得较多<sup>[4-6]</sup>, 但对弗兰克氏菌研究得较少。不同的接种技术均影响其接种效果, 进行大面积的人工接种迫切需要简便易行且效果好的接种技术。本文研究了接种方法、时间、接种剂类型、接种量及接种基质、施肥对接种效果的影响, 旨在为弗兰克氏菌在林业上的应用提供接种技术。

## 1 材料与方法

### 1.1 接种时间

1.1.1 种子接种 细枝木麻黄(*Casuarina cunninghamiana* Miq.) 种子经 0.1% HgCl<sub>2</sub> 消毒 2~3 min, 无菌水冲洗干净后, 浸泡在 Bap 培养基中培养 1 个月的 *Frankia* 9041 菌悬液中过夜, 播种于经过高温灭菌的沙 蛭石为 1:1 的基质中, 4 个月后检查结瘤情况。

1.1.2 胚芽期接种 种子表面消毒处理同上, 将经过消毒的种子置于无菌培养皿内, 用无菌水保持培养皿内滤纸湿润, 待种子出芽后浸入 *Frankia* 9041 菌悬液(菌的培养条件同上) 过夜, 播种在经过高温灭菌的沙 蛭石为 1:1 的基质中, 4 个月后检查结瘤情况。

1995—11—20 收稿。

康丽华副研究员(中国林业科学研究院热带林业研究所 广州 510520)。

\* 本项研究为 1991~1993 年国家自然科学基金项目“木麻黄及桉树共生菌研究”和 1993~1995 年中国林科院基金项目“木麻黄根瘤菌弗兰克氏菌的应用生态学研究”的部分内容。

1.1.3 幼苗期接种 种子表面消毒处理同上,将经过消毒的种子播种在灭菌的沙 蛭石为 1 1 的基质中,待苗木长至 3~4 cm,根长 2~3 cm 时,将苗木根系浸入 *Frankia* 9041 菌悬液中过夜(菌的培养条件同上),移栽于经过高温灭菌的沙 蛭石为 1 1 的基质中,4 个月后检查结瘤情况。

## 1.2 接种方法

1.2.1 完整根系接种法 苗木用无性系苗,采用木麻黄小枝水培法进行生根<sup>[7]</sup>。将根长 3~4 cm 的无性系苗根系浸入 *Frankia* 9041 菌悬液 4 h 后,移植到经过高温灭菌的沙 蛭石为 1 1 的基质中,2 个月后检查结瘤情况。

1.2.2 切根接种法 苗木培育同完整根系接种法,将根长 3~4 cm 的无性系苗剪掉根系末梢 0.5~1 cm 后,浸入 *Frankia* 9041 菌悬液,其余处理同完整根系接种法。

1.2.3 针刺接种法 苗木培育同完整根系接种法,将根长 3~4 cm 的无性系苗用无菌注射器吸取 0.2 mL *Frankia* 9041 菌悬液注射到苗木茎基部,其余处理同完整根系接种法。

## 1.3 接种剂制备

1.3.1 海藻酸钙胶囊菌剂 将培养好的弗兰克氏菌用海藻酸钠溶液包埋,使之成为直径 0.5~0.7 cm 的球形颗粒<sup>[8]</sup>,培养 10 d 后,自然风干成干菌剂备用。

1.3.2 草炭菌剂 草炭经 60 号土壤筛(筛孔为 0.25 mm),每支试管装 6 g,高温灭菌后加入弗兰克氏菌悬液 6 mL,混匀后放室温培养 10 d 备用。

1.3.3 蛭石菌剂 蛭石经 10 号土壤筛(筛孔为 2 mm),每支试管装入与草炭同样体积的蛭石,高温灭菌后加入弗兰克氏菌悬液 6 mL,混匀后放室温培养 10 d 备用。

## 1.4 接种量

海藻酸钙胶囊菌剂分高、中、低三个接种量及 30、20、10 粒/株,接种后定期观察苗木生长与结瘤情况。

## 1.5 弗兰克氏菌混合接种

1.5.1 不同弗兰克氏菌混合接种 分离自澳大利亚细枝木麻黄根瘤的 *Frankia* JCT287 菌株与分离自广州粗枝木麻黄根瘤的 *Frankia* 9028 菌株分别培养在 Bap 培养基,28~30 培养 1 个月。测定菌体干重,按 JCT287 9028 比例为 1 10、10 1 和 1 1 混合,每株苗接 3 mL,每个处理 10 株苗。

1.5.2 弗兰克氏菌与蜡状芽孢杆菌(*Bacillus cereus* Frankland)混合接种 弗兰克氏菌培养条件同上,蜡状芽孢杆菌分离自广东徐闻砖红壤,在葡萄糖蛋白胨培养基上于 28~30 培养 2 d,用无菌水洗下菌苔,制成菌悬液,按不同处理混合接种。每株苗接 3 mL,每个处理 10 株苗。

## 1.6 接种基质

红壤取自广东省徐闻砖红壤性红壤,海沙为一般建筑用沙。接种前及接种 9 个月后取土壤进行营养成份含量分析,腐殖质含量用丘林法、全 N 用蒸馏法、速效 N 用扩散法、全 P 用酸溶比色法、速效 P 用双酸法、速效 K 用  $\text{NH}_4\text{Ac}$  浸提法。

另在红壤中加入石灰,红壤与石灰体积比为 10:1,混合均匀后装土杯,每杯移 1 株山地木麻黄苗木,接种弗兰克氏菌悬液 3 mL,每个处理重复 10 株苗,9 个月后观察。

## 1.7 施肥

苗木接种后,每星期每株苗施营养液 5 mL。营养液配方为:  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  139.2 g/L;  $\text{MgSO}_4 \cdot$

7H<sub>2</sub>O 98.6 g/L; CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O 1.57 g/L; CoSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O 0.5 g/L, 对照不施肥, 9 个月后测苗高、地径, 用水洗净根部, 计数根瘤个数, 称其鲜重和干重。

## 2 结果与分析

### 2.1 木麻黄不同苗期接种对接种效果的影响

用木麻黄种子、胚芽和幼苗期接种弗兰克氏菌的试验结果见表 1。从表 1 看出幼苗期接种的效果最好, 结瘤量与结瘤率最高。其次是胚芽接种, 用种子接种的处理其结瘤量与结

瘤率最低, 可能与弗兰克氏菌在土壤中的存活有关, 同时揭示了弗兰克氏菌不能侵入种皮, 只能吸附在种子表面, 当种子萌发后附着于种皮的菌随着子叶顶着种皮上升到土面而死亡, 只有留在土中的一部分菌可侵入宿主根部形成根瘤。所以结瘤量与结瘤率相对低。

### 2.2 不同接种方法对接种效果的影响

试验采用的完整根系、切根及针刺接种法的试验结果见表 2。从表 2 结果看出, 切根接种法效果最好, 不仅根瘤数量多而且结瘤时间短。观察结果还表明, 经过切根处理的苗木根系较完整根系接种法和针刺接种法的短, 切除末梢后促进了根系的生根, 根数量较多, 这就为弗兰克氏菌的侵入创造更多的机会, 另外弗兰克氏菌从根系末梢的切口直接进入皮层, 可缩短结瘤时间。表 3 方差分析结果表明: 三种不同接种方法接种 6 个月苗木结瘤数量的差异极显著。

表 2 不同接种方法的接种效果

接种方法	接种 20d			接种 2 个月			接种 6 个月			生物量 (g 干重/ 株)
	苗高 (cm)	瘤数 (个/株)	结瘤率 (%)	苗高 (cm)	瘤数 (个/株)	结瘤率 (%)	苗高 (cm)	地径 (cm)	瘤数 (个/株)	
完整根系接种法	8.2	2	30.3	17.0	9.3	100	40.1	0.234	11.0	1.694
切根接种法	9.3	4	50.1	18.15	11.0	100	41.6	0.245	12.4	2.413
针刺接种法	9.1	3	30.3	16.75	5.7	100	36.1	0.213	6.1	1.404

表 3 不同接种方法接种 6 个月瘤数的方差分析

变异来源	平方和	自由度	方差	F
接种方法	152	2	76	10.209 6**
剩余	134	18	7.444	
总和	286	20		

表 1 木麻黄不同苗期接种 *Frankia* 的效果

接种时间	结瘤量 (g 干重/株)	结瘤率(%)
种子	0.03	31.82
胚芽	0.06	70.37
幼苗	0.08	100.0

### 2.3 不同接种剂接种效果的比较

五种不同 *Frankia* 接种剂的接种效果见表 4。从表 4 结果看出, 经五种 *Frankia* 接种剂接种的苗木其高生长比对照增加 29.11% ~ 44.31%; 地径增加 35.66% ~ 93.8%; 生

生物量增加 121.43% ~ 318.07%。通过对这五种不同接种剂接种 6 个月苗木根瘤重量进行方差分析, 结果表明它们之间差异不显著(表略)。说明这五种 *Frankia* 接种剂的效果大致相同。但作为筛选优良菌剂还必须考虑 *Frankia* 菌体在各种载体中的存活率和侵染力, 这方面的研究将另文报道。

### 2.4 海藻酸钙胶囊菌剂不同接种量的研究

海藻酸钙胶囊菌剂按不同接种量接种于木麻黄根系周围, 结果见表 5。方差分析表明: 不同接种量之间苗木生物量鲜重差异显著(表 6)。经 LSR 分析表明: 高接种量与低接种量差异

显著。

表 4 不同接种剂类型接种效果比较

接种剂类型	苗木生长情况						
	苗高 (cm)	增加 (%)	地径 (cm)	增加 (%)	根瘤重 (g/株)	生物量 (g 干重/株)	增加 (%)
海藻酸钙胶囊	33.94	40.54	0.190	47.29	0.036	1.316	176.47
蛭石	33.22	37.56	0.215	66.67	0.035	1.692	255.46
草炭	34.44	42.61	0.224	73.64	0.038	1.661	248.95
干海藻酸钙胶囊	31.18	129.11	0.175	35.66	0.026	1.054	121.43
液体	34.85	144.31	0.250	93.80	0.035	1.990	318.07
对照	24.15	0	0.129	0	0	0.476	0

表 5 不同接种量效果比较

接种量	苗高 (cm)	瘤数 (个/株)	瘤重 (g 鲜重/株)	地上部分 (g 鲜重/株)	地下部分 (g 鲜重/株)	生物量 (g 鲜重/株)
高	52.0	21.75	0.308	4.70	2.084	7.092 a
中	49.3	15.75	0.244	5.026	1.231	6.501 ab
低	48.1	14.38	0.133	3.537	0.949	4.519 b

注:生物量后面英文字母不同者表明经 LSR 分析差异显著( $P = 0.05$ )。

表 6 不同接种量接种苗木生物量鲜重的方差分析

变异来源	平方和	自由度	方差	F
接种量	25.3067	2	12.6534	5.3895*
剩余	42.2611	18	2.3478	
总和	67.5678			

表 7 *Frankia* 菌株混合接种的效果

<i>Frankia</i> 菌处理	苗高 (cm)	
	5个月	9个月
<i>Frankia</i> 287	36.05	54.89
<i>Frankia</i> 9028	34.35	53.17
<i>Frankia</i> 287 9028= 1 10	35.50	46.29
<i>Frankia</i> 287 9028= 10 1	35.90	45.50
<i>Frankia</i> 287 9028= 1 1	32.55	40.25
CK(不接菌)	17.42	36.44

表 8 *Frankia* 菌与蜡状芽孢杆菌混合接种的接种效果

处 理	苗高		根瘤数量		根瘤重量		地下部分		地上部分	
	(cm)	增加 (%)	(个/株)	增加 (%)	(g 干重 /株)	增加 (%)	(g 干重 /株)	增加 (%)	(g 干重 /株)	增加 (%)
<i>Frankia</i> 菌	34.8	0	7.5	0	0.071	0	0.676	0	2.770	0
<i>Frankia</i> 菌+ 蜡状芽孢杆菌	38.8	14.5	12.8	70.7	0.148	108.5	1.192	76.3	5.509	98.9
CK(不接菌)	32.6	—	0	—	0	—	0.185	—	2.019	—

## 2.5 *Frankia* 菌株的混合接种

2.5.1 不同 *Frankia* 菌株的混合接种对其接种效果的影响 *Frankia* 287 菌株与 *Frankia* 9028 菌株混合接种的效果见表 7, 结果表明 *Frankia* 菌单接种的效果比混合接种的效果好, 可能菌株之间存在互相抑制结瘤的现象, 其机理有待于今后研究, 在根瘤菌的混合接种中也存在这种现象<sup>[9]</sup>。

2.5.2 *Frankia* 菌株与蜡状芽孢杆菌混合接种对其效果的影响 *Frankia* 菌株与蜡状芽孢杆菌混合接种的接种效果见表 8。从表 8 结果看出, *Frankia* 菌株与蜡状芽孢杆菌混合接种的接种效果优于 *Frankia* 菌单接种, 芽孢杆菌具有较强烈分解复杂和难分解有机质的酶系统, 是蛋白质等含氮有机物质的强烈分解者<sup>[10]</sup>。

## 2.6 接种基质对接种效果的影响

木麻黄无性系的接种效果在海沙和红壤两种基质之间存在差异,表 9 结果表明,在红壤上的接种效果较好。但接种 *Frankia* 菌均能提高基质的营养成分含量,表 10 说明海沙和红壤接种前后营养成分的变化,表明接种后不仅明显地提高基质中全 N 与速效 N 的含量,而且也增加了有机质、速效 K 的含量。证明 *Frankia* 菌具有固定空气中分子态 N 的特殊作用,同时也说明了接种 *Frankia* 菌能改善土壤的营养。

表 11 结果表明在红壤中加石灰能促进木麻黄苗木生长与结瘤,这与豆科植物接种根瘤菌在红壤中加石灰的结果相一致<sup>[11]</sup>。

表 9 不同基质的接种效果

基质	9007 无性系		506 无性系	
	苗高 (cm)	固氮酶活性 ( $\mu\text{mol}$ 乙烯/ $\text{g}$ 鲜瘤 $\cdot$ h)	苗高 (cm)	固氮酶活性 ( $\mu\text{mol}$ 乙烯/ $\text{g}$ 鲜瘤 $\cdot$ h)
海沙	34.20	3.062	22.9	2.055
红壤	42.73	10.573	26.3	6.875

表 10 接种前后基质营养含量的变化

营养成份	海 沙			红 壤		
	接种前	接种后	增加(%)	接种前	接种后	增加(%)
有机质(g/kg)	0.620	0.880	41.94	2.750	3.75	36.36
全 N(g/kg)	0.024	0.066	175.0	0.051	0.178	249.02
全 P(g/kg)	0.079	0.034	- 132.35	0.113	0.096	- 10.771
速效 N(mg/kg 干土)	3.690	12.310	233.6	30.420	32.04	5.33
速效 P(mg/kg 干土)	1.540	1.570	1.95	ND	1.06	—
速效 K(mg/kg 干土)	9.010	10.10	12.1	32.760	34.70	97.5

表 11 红壤加石灰对木麻黄生长与结瘤的影响

处 理	苗 高 (cm)			根瘤重量(g 干重/株)			生物量(g 干重/株)		
	不加石灰	加石灰	增加(%)	不加石灰	加石灰	增加(%)	不加石灰	加石灰	增加(%)
接种	73.125	75.429	3.15	0.279	0.35	25.45	4.889	5.724	17.08
不接种	67.222	69.125	2.83	0	0	—	3.006	3.576	18.96

## 2.7 施肥对接种效果的影响

施肥对接种效果的影响见表 12,从结果看出,施肥能提高苗木接种效应和结瘤能力,促进苗木生长。

表 12 施肥对接种效果的影响

处 理	细枝木麻黄						普通木麻黄( <i>C. eguiseifolia</i> L.)									
	高		瘤重		生物量		高		瘤重		生物量					
	平均	增加(%)	平均	增加(%)	平均	增加(%)	平均	增加(%)	平均	增加(%)	平均	增加(%)				
接 <i>Frankia</i> 9021	48.33	0	0.071	6	0	1.483	5	0	33.14	0	0.031	6	0	0.519	0	
接 <i>Frankia</i> 9021+ 施肥	56.50	16.9	0.102	43.0	3.082	9	107.8	36.67	58.4	0.032	5	2.9	0.896	4	2.7	
接 <i>Frankia</i> 283	43.0	0	0.050	4	0	1.602	9	0	28.33	0	0.037	0	0	0.935	4	0
接 <i>Frankia</i> 283+ 施肥	56.0	30.2	0.173	5	244.3	2.505	6	56.3	31.86	12.4	0.103	2	178.4	0.605	9	71.7
CK(不接种不施肥)	38.5	—	0	—	0.962	0	—	22.25	—	0	—	—	0.478	4	—	

(续表 12)

处 理	粗枝木麻黄( <i>C. glauca</i> Sieb.)						山地木麻黄( <i>C. Junghniana</i> Miq)									
	高 (cm)		瘤重 (g 干重/株)		生物量 (g 干重/株)		高 (cm)		瘤重 (g 干重/株)		生物量 (g 干重/株)					
	平均	增加 (%)	平均	增加 (%)	平均	增加 (%)	平均	增加 (%)	平均	增加 (%)	平均	增加 (%)				
接 <i>Frankia</i> 9021	39.1	0	0.096	0	1.316	6	0	55.44	0	0.130	6	0	4.412	2	0	
接 <i>Frankia</i> 9021+ 施肥	66.1	53.7	0.230	7	140.3	4.751	2	260.9	56.10	1.2	0.134	8	3.2	3.069	8 - 43.7	
接 <i>Frankia</i> 283	36.9	0	0.075	6	0	1.051	9	0	51.60	0	0.048	9	0	2.679	8	0
接 <i>Frankia</i> 283+ 施肥	50.1	35.8	0.230	4	204.8	3.010	8	86.2	51.56	- 0.2	0.093	3	90.8	3.387	6	26.4
CK(不接种不施肥)	18.8	—	0	—	0.195	0	—	34.72	—	0	—	—	1.529	0	—	

## 2 结语与讨论

(1) 木麻黄接种最适时间为苗高 3~4 cm, 根长 2~3 cm 的幼苗期; 最适方法为切根接种法。在移植过程中, 受损伤的部分根系形成切口, 有利于 *Frankia* 菌的侵入。所以建议在移植的同时进行接种。

(2) 文中研究的五种类型的 *Frankia* 接种剂, 均可使用。但应用在生产上还须考虑菌剂储存方式、时间对 *Frankia* 菌体在各种载体中的存活力和侵染力, 同时也应考虑菌剂能便于远距离运输, 方便携带及菌剂生产成本等综合因素。液体接种剂虽然成本较低, 但不便储存和远距离运输。

(3) 接种量以每株接 30 粒干海藻酸钙的效果最好。对豆科植物与根瘤菌的研究表明: 适当提高根瘤菌的接种量有利于提高其结瘤率<sup>[6]</sup>。其次是 *Frankia* 菌与芽孢杆菌混合接种的效果较好, 这可能与芽孢杆菌具有将有机质分解转化为根系能吸收的营养物质的能力有关。根系为根瘤内 *Frankia* 菌提供充足的营养物质, 促进 *Frankia* 菌的固氮作用, *Frankia* 菌固定的氮进而又促进树木生长。

(4) 接种 *Frankia* 菌不仅明显地提高基质中全 N 与速效 N 的含量, 而且也增加了有机质、速效 K 的含量。证明接种 *Frankia* 菌能提高土壤营养成分的含量, 这对于改良日趋贫瘠的南方沿海沙地具有重要意义。在红壤中加石灰能提高树木的生长与结瘤, 木麻黄和 *Frankia* 菌喜微碱性环境, pH 7.0~7.5 生长良好。

(5) 施营养元素 P、Mg、Ca 和 Co 能提高木麻黄高生长、结瘤量和生物量, P 是木麻黄生长与固氮的限制因子<sup>[3]</sup>, Co 与植物的结瘤关系密切, Mg 和 Ca 与土壤的 pH 密切相关, 所以, 施上述营养元素均能增加木麻黄的生长与结瘤。

## 参 考 文 献

- 1 Reddell P, Rosbrook P A, Bowen G D, et al. Growth responses in *Casuarina cunninghamiana* plantings to inoculation with *Frankia*. *Plant and Soil*, 1988, 108, 79~86.
- 2 Domergues Y R, Diem H G, Sougoufara B. Nitrogen fixation in Casuarinaceae: Quantification and improvement. In: El-Lakany M H, Turbull J W, Brewbaker J L (editor s). *Proceedings of the Second International Casuarina workshop*, Cairo, Egypt. *Advances in Casuarina research and utilization*, 1990. 110~121.
- 3 康丽华. 木麻黄苗期接种弗兰克氏菌效应及其与营养元素的关系. *林业科学研究*, 1994, 7(2): 129~132.
- 4 Burton J C. New developments in inoculating Legumes. In: N. S. Subba Rao (editors). *Recent advances in biological*

- nitrogen fixation. New Delhi, India, 1981. 380 ~ 405.
- 5 Williams. P M. Current use of legume inoculant technology. In: Martin Alexander (editors). Biological nitrogen fixation. New York and London, 1984. 173 ~ 200.
  - 6 陈文新. 土壤中影响根瘤存活的主要因素. 土壤学进展, 1986, (5): 17 ~ 20.
  - 7 梁子超. 木麻黄抗青枯病小枝水培繁殖法. 林业科技通讯, 1986, (5): 24 ~ 26.
  - 8 Diem H G, Duhoux E, Simonet P, et al. Actinorhizal symbiosis biotechnology: the present and the future. In: Durand G, Bobichon L, Florent J (editors). 8th International Biotechnology Symposium. Paris, 1988. 985 ~ 995.
  - 9 康丽华. 土壤微生物. 见: 蒋有绪, 卢俊培主编. 中国海南岛尖峰岭热带林生态系统. 北京: 科学出版社, 1991. 165 ~ 170.
  - 10 张隆芬, 张启明, 陈民锋. 木豆的含 N 量及根瘤的固 N 改土效益. 热带亚热带森林生态系统研究, 1984, (2): 157 ~ 161.

## Study on Inoculation Technology and Effect of Inoculation with *Frankia* on *Casuarina*

Kang Lihua

**Abstract** The inoculation technology and effect of inoculation with *Frankia* on *Casuarina* were studied. The results showed that optimal time for inoculation with *Frankia* on *Casuarina* was the seedlings of 3 ~ 4 cm in height; the optimal methods was before inoculation with *Frankia* on seedlings cut off their tip of roots. There were no differences among the inoculum of dry or wet alginate beads, peat, vermiculite, liquid on effect of inoculation with *Frankia*. A high quantity of inoculum for inoculation with *Frankia* on seedlings was better than the low on effect of inoculation. The dual inoculation of seedlings with *Frankia* and *Bacillus cereus* was better than only *Frankia* on effect of inoculation. The seedlings applied with P, Mg, Ca, Co and mixed with lime in red soil can promoted their growth and indulation. The inoculation with *Frankia* on seedlings was not only increasing total N and available N of soil, but also organic matter and available K.

**Key words** *Casuarina* *Frankia* inoculation technology effect of inoculation

Kang Lihua, Associate Professor (The Research Institute of Tropical Forestry, CAF Guangzhou 510520).