

文章编号: 1001-1498(2000) 03-0274-06

# 人工接种弗兰克氏菌的木麻黄幼林 施肥效应研究\*

康丽华<sup>1</sup>, 李素翠<sup>1</sup>, 彭耀强<sup>2</sup>, 刘玉<sup>2</sup>, 陈华成<sup>2</sup>, 罗成就<sup>2</sup>

(1. 中国林业科学研究院热带林业研究所, 广东广州 510520; 2. 广东省林业厅, 广东广州 510173)

**摘要:** 对人工接种弗兰克氏菌的木麻黄幼林进行施肥效应的研究表明: 施肥能显著地提高木麻黄幼林的生长, 施肥处理的树高和胸径分别比不施肥的增加 0.8% ~ 57.1% 和 10.1% ~ 55.3%; 年均材积平均每公顷增长 0.880 14 ~ 2.817 04 m<sup>3</sup>。最佳施肥处理(配方)是 N<sub>100</sub>P<sub>250</sub>K<sub>37.5</sub>。在人工接种弗兰克氏菌的木麻黄幼林三要素施肥中, 第 1、2 年以 P 肥为主要影响因素, 第 3、4 年以 N 肥为主要影响因素。施肥的时效性在第 2 年为最大肥效时间, 随着林龄的增加肥效下降。不同施肥处理的叶片 N 含量也有明显的不同。

**关键词:** 弗兰克氏菌接种; 木麻黄幼林; 施肥量; 肥料配方; 施肥效应

中图分类号: S725.5

文献标识码: A

木麻黄(*Casuarina* spp.) 是沿海地区营造防风固沙林、农田防护林和能源林的重要树种, 具有固定流动沙丘、战胜风沙危害、保护农田并增加可耕地的作用, 并且为少林地区提供木材和薪炭材。在我国华南各地营造的 30 万 hm<sup>2</sup> 木麻黄防护林被誉为绿色的万里长城, 对于改善生态环境, 抵御自然灾害, 解决群众用材和燃料等发挥了巨大的作用。现在这些木麻黄人工林已进入成熟期, 亟待更新改造, 但当前面临二、三代更新成活率低, 生长衰退和生产力下降等不利局面, 其主要原因是土壤肥力低, 养分极为贫乏<sup>[1,2]</sup>。人工林施肥的目的是为了提高林分的单位面积产量, 缩短成材年限, 取得更高的经济效益。国内外对木麻黄人工林的施肥问题进行了一些研究, 但人工接种弗兰克氏菌(*Frankia*) 的木麻黄人工林的需肥特点及 N、P、K 的配比等, 到目前为止这方面研究较少。人工接种弗兰克氏菌对于促进林木生长, 改善南方日趋贫瘠的沙地土壤已越来越受到重视, 木麻黄人工林接种弗兰克氏菌已势在必行。所以开展人工接种弗兰克氏菌的木麻黄人工林的施肥研究, 对接种木麻黄人工林的科学施肥, 使其充分发挥施肥效益减少浪费具有重要意义。本试验旨在对二代人工接种木麻黄幼林进行施肥量、肥料配方和施肥效果的研究, 为人工接种弗兰克氏菌的木麻黄幼林经济合理施肥提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 菌株来源及菌剂制作

弗兰克氏菌 9022 菌株分离自本所粗枝木麻黄(*Casuarina glauca* Sieb. ex Spreng.) 根瘤<sup>[3]</sup>, 弗兰克氏菌在 28 ~ 30 ℃ 的 Bap<sup>[4]</sup> 培养液中通气培养 15 d, 用海藻酸钠溶液包埋, 使之成

收稿日期: 1998-10-08

基金项目: 广东省林业厅项目“木麻黄内生菌——弗兰克氏菌应用研究”课题(1993 ~ 1997 年)的一部分

作者简介: 康丽华(1955-), 女, 福建龙海人, 副研究员。

\* 参加工作的还有本所郑翠梅同志。

为 0.5~0.7 cm 的球形颗粒<sup>[5]</sup>, 在 Bap 培养液培养 10 d 后倾去培养液, 自然风干成干菌剂备用。

## 1.2 苗木接种方法

采用苗木注射法。苗木用普通木麻黄(*Casuarina equisetifolia* L.) 无性系水培苗, 待其长至 6~7 cm 高时接种。接种时用磷酸缓冲液浸泡干海藻酸钙菌剂 2~3 h, 将其搅拌均匀成菌悬液, 用无菌注射器吸取 15 mL 注射到苗木根系周围, 使其接种量为 0.05 g 干海藻酸钙·株<sup>-1</sup>。苗木出圃前的管理按常规方法。

## 1.3 施肥处理

采用正交试验设计 L<sup>9</sup>(3<sup>4</sup>)<sup>[5]</sup>, 以 N、P、K 为 3 个施肥因子, 3 个施肥水平, 产生 9 个施肥处理(配方), 处理小区随机排列, 4 次重复, 每小区 36 株, 株行距 2 m×2 m。造林时将肥料施入穴内与土壤混合均匀。施肥水平、施肥量及试验处理见表 1 和表 2。

表 1 施肥水平、施肥量

kg·hm<sup>-2</sup>

施肥水平	尿 素 (含 N 460 g·kg <sup>-1</sup> )	过磷酸钙 (含 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 140 g·kg <sup>-1</sup> )	氯化钾 (含 K <sub>2</sub> O 600 g·kg <sup>-1</sup> )
1	0(N <sub>0</sub> )	0(P <sub>0</sub> )	0(K <sub>0</sub> )
2	50(N <sub>50</sub> )	125(P <sub>125</sub> )	37.5(K <sub>37.5</sub> )
3	100(N <sub>100</sub> )	250(P <sub>250</sub> )	75(K <sub>75</sub> )

表 2 施肥试验处理

kg·hm<sup>-2</sup>

处理号	肥料配方	处理号	肥料配方	处理号	肥料配方
1	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	2	N <sub>0</sub> P <sub>125</sub> K <sub>37.5</sub>	3	N <sub>0</sub> P <sub>250</sub> K <sub>75</sub>
4	N <sub>50</sub> P <sub>0</sub> K <sub>37.5</sub>	5	N <sub>50</sub> P <sub>125</sub> K <sub>75</sub>	6	N <sub>50</sub> P <sub>250</sub> K <sub>0</sub>
7	N <sub>100</sub> P <sub>0</sub> K <sub>75</sub>	8	N <sub>100</sub> P <sub>125</sub> K <sub>0</sub>	9	N <sub>100</sub> P <sub>250</sub> K <sub>37.5</sub>

## 1.4 试验地概况

试验地位于广东省西部阳西县境内的溪头镇, 21°43' N, 111°35' E, 每年 6~9 月台风频繁。土壤为二代木麻黄林的滨海沙土, pH 为 6.4; 有机质含量为 2.34 g·kg<sup>-1</sup>; 全 N 0.105 g·kg<sup>-1</sup>, 全 P 0.205 g·kg<sup>-1</sup>, 全 K 3.42 g·kg<sup>-1</sup>; 速效 N 54.79 mg·kg<sup>-1</sup>, 速效 P 1.636 mg·kg<sup>-1</sup>, 速效 K 33.93 mg·kg<sup>-1</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 施肥对木麻黄幼林生长的影响

表 3 为施肥处理后, 第 1 年至第 4 年幼林树高和胸径生长的统计结果。方差分析结果表明, 除了第 1 年树高差异不显著外, 其余第 2 年至第 4 年树高、胸径处理间差异极显著, 而且随着时间的延长, *F* 值逐渐下降。施肥处理的木麻黄树高和胸径分别比不施肥的增加 0.8%~57.1% 和 10.1%~55.3%。

### 2.2 N、P、K 肥效主次分析

表 4 和表 5 正交方差分析结果表明: N、P、K 水平间存在差异, 从方差贡献值和极差值的大小, 可反应出 N、P、K 三因子对树高、胸径、材积影响的大小。其主次顺序是: 第 1 年树高 P、

K、N；第2年树高、材积 P、N、K，胸径 P、K、N；第3年树高 N、P、K，胸径、材积 N、K、P；第4年树高、胸径、材积都是 N、K、P。由此可见，木麻黄施肥三要素中，第1、2年以 P 肥为主要影响因素，第3、4年以 N 肥为主要影响因素，这与固氮树种的需肥特点相同，即在幼林期对 N 肥的需要量低于 P 肥的需要量<sup>[2]</sup>。这可能与接种弗兰克氏菌的木麻黄共生固氮特性有关，在木麻黄接种弗兰克氏菌的大田试验研究(结果另文发表)中得出接菌的木麻黄第1、2年的共生固氮能力最强，随着林龄的增大，共生固氮能力逐渐减弱，所以在第1、2年以 P 肥为主要影响因素，在第3、4年则以 N 肥为主要影响因素。

表3 不同施肥处理木麻黄生长比较

第1年			第2年				
施肥处理	树高/cm	增加/%	施肥处理	树高/m	增加/%	胸径/cm	增加/%
8	1.21	57.1	5	2.96 a	41.0	1.91 a	55.3
9	0.94	22.1	8	2.87 ab	36.7	1.64 bcd	33.3
2	0.93	20.8	2	2.74 abc	30.5	1.83 ab	48.8
6	0.92	19.5	7	2.73 abcd	30.0	1.46 cdef	18.7
4	0.90	16.9	9	2.64 bcde	25.7	1.83 abc	48.3
3	0.88	14.3	6	2.53 bcdef	20.5	1.56 cdef	26.9
5	0.87	13.0	3	2.51 cdefg	19.5	1.59 bcde	29.3
7	0.80	3.9	4	2.40 cdefg	14.3	1.51 cdef	22.8
1	0.77	0	1	2.10 g	0	1.23 f	0
F 值	1.356		7.263* *			8.3* *	

第3年					第4年				
施肥处理	树高/m	增加/%	胸径/cm	增加/%	施肥处理	树高/m	增加/%	胸径/cm	增加/%
4	4.92 a	24.6	0.47 abcde	26.7	9	7.05 a	16.0	5.96 a	37.0
2	4.87 ab	23.3	3.58 abcd	30.7	4	6.94 ab	14.1	5.50 abcde	26.4
9	4.70 abc	19.0	3.71 a	35.4	6	6.91 abc	13.7	5.69 abc	30.8
5	4.67 abcd	18.2	3.27 abcdef	19.3	2	6.89 abcd	13.3	5.53 abcd	27.1
7	4.67 abcd	18.2	3.08 bedef	12.4	8	6.87 abcde	13.0	5.85 ab	34.5
6	4.64 abcd	17.5	3.60 abc	31.4	7	6.75 abcdef	10.9	4.82 defg	10.1
8	4.59 abcde	16.2	3.63 ab	32.5	5	6.45 abcdef	6.1	5.0 cdefg	15.0
3	4.26 cdef	7.8	3.29 abcdef	20.1	3	6.13 f	0.8	5.25 abcdef	20.7
1	3.95 g	0	2.74 f	0	1	6.08 f	0	4.35 g	0
F 值	4.529* *		4.641* *		2.658*			4.306* *	

注：同一项内，不具有共同字母的数据，表明经 LSR 分析差异显著( $\alpha=0.05$ )。

表4 树高、胸径和材积极差值

	第1年		第2年		第3年			第4年		
	树高/m	树高/m	胸径/cm	材积/m <sup>3</sup>	树高/m	胸径/cm	材积/m <sup>3</sup>	树高/m	胸径/cm	材积/m <sup>3</sup>
N	0.029	0.240	0.170	0.150	0.468	0.496	1.35	0.578	0.779	3.45
P	0.103	0.323	0.447	0.293	0.344	0.215	0.28	0.322	0.420	3.12
K	0.110	0.234	0.224	0.136	0.215	0.331	0.72	0.445	0.583	3.40

### 2.3 木麻黄幼林施肥的效应

从表6结果看出所有施肥处理对木麻黄幼林的材积都有明显的增产效果。其中第9处理效果最好，在林分4年生时材积是不施肥的2.176倍。在N、P、K三要素、三水平施肥中，肥效

最高的为  $K_{37.5}$ , 4年生材积为  $18.38816 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ ,  $N_{100}$ 材积为  $17.85746 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ ,  $P_{250}$ 材积为  $17.84410 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ (表7)。

表5 N、P、K 肥效方差分析

变异来源	自由度	第1年		第2年		第3年		第4年		
		均方	F 值	均方	F 值	均方	F 值	均方	F 值	
树高	N	2	0.0282	0.68	1.7839	5.21**	6.8335	10.03**	11.1900	11.98**
	P	2	0.3537	8.58**	3.5500	10.36**	3.6955	5.43**	3.1534	3.38*
	K	2	0.4002	9.71**	1.7389	5.08**	1.4004	0.131	7.4451	7.97**
	误差	171	0.0412		0.3426		0.6812		0.9338	
胸径	N	2			0.8786	4.53*	7.4370	9.34**	22.729	16.32**
	P	2			7.4106	38.21**	1.3953	1.75	6.462	4.64*
	K	2			1.6245	8.38**	3.7919	4.76**	13.388	9.61**
	误差	171			0.1939		0.7964		1.393	
材积	N	2			0.6891	4.32*	55.367	9.90**	464.10	11.52**
	P	2			3.0270	18.98**	2.699	0.48	333.03	8.27**
	K	2			0.6642	4.17*	16.576	2.96	375.90	9.33**
	误差	171			0.1594		5.595		40.28	

表6 不同施肥处理木麻黄幼林4年生材积统计及叶片N含量分析

处理号	处理	4年生材积/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ )	年平均材积/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ )	年均材积增长量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ )	年材积增长率/ %	叶片N含量/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )
1	$N_0P_0K_0$	9.58289	2.39572	0	0	0.989
2	$N_{0P_{125}K_{37.5}}$	17.53556	4.38389	1.98817	82.99	1.297
3	$N_0P_{250}K_{75}$	14.05700	3.51425	1.11853	46.69	1.285
4	$N_{50}P_0K_{37.5}$	17.47090	4.36773	1.97201	82.31	1.344
5	$N_{50}P_{125}K_{75}$	13.41096	3.35274	0.95702	39.95	1.168
6	$N_{50}P_{250}K_0$	18.62423	4.65606	2.26034	94.35	1.314
7	$N_{100}P_0K_{75}$	13.10345	3.27586	0.88014	36.74	1.059
8	$N_{100}P_{125}K_0$	19.61792	4.90448	2.50876	104.72	1.387
9	$N_{100}P_{250}K_{37.5}$	20.85102	5.21276	2.81704	117.59	1.515

表7 木麻黄幼林4年生材积与施肥水平的关系

 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 

施肥水平	N	P	K
1	13.72518	13.38575	15.94168
2	16.50203	16.85481	18.38816
3	17.85746	17.84410	13.52380

由表7可见,木麻黄幼林优化的三要素施肥配方为  $N_3P_3K_2$ ,即三要素的合理用量每公顷为含N量  $460 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的尿素100 kg,含  $P_2O_5$   $140 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的过磷酸钙250 kg,含  $K_2O$   $600 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的氯化钾37.5 kg,这一施肥配方正好是表6中的第9处理,是木麻黄幼林材积最高的这个处理。它们的最佳配比(N  $P_2O_5$   $K_2O$ )为1 2.5 0.375,这与不接种弗兰克氏菌的木麻黄施肥配比1.3 3 0.9有所不同<sup>[2]</sup>。

## 2.4 不同施肥处理的时效性

从图1和图2看出,木麻黄绝大多数施肥处理的树高和胸径增长率都是在第2年达到最高值,随着林龄的增加,增长率下降。

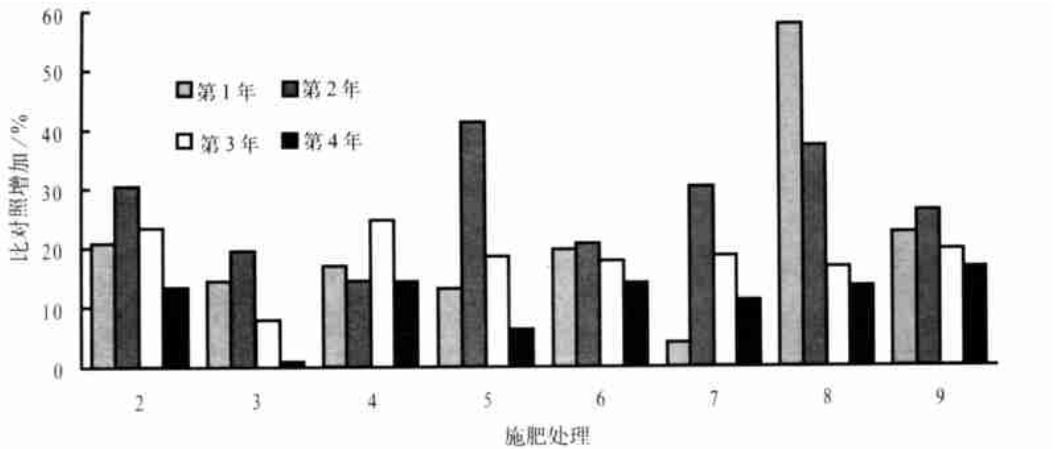


图1 不同施肥处理树高增加与林龄的关系

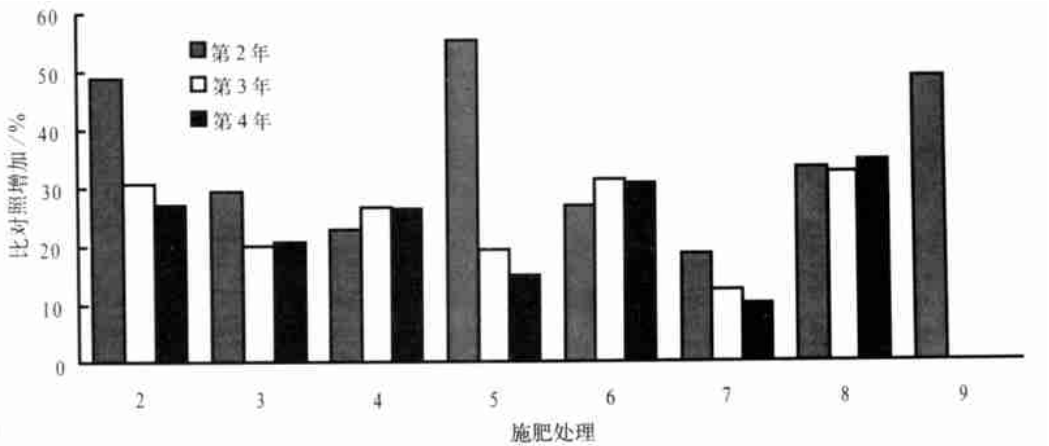


图2 不同施肥处理胸径增加与林龄的关系

## 2.5 施肥对木麻黄幼林叶片营养元素含量的影响

表6结果表明:第9处理的叶片N含量最高,第1处理的叶片N含量最低。不同施肥处理叶片N含量的差异基本与材积的差异相吻合。

## 3 结语

(1) 施肥对人工接种弗兰克氏菌的木麻黄幼林具有显著的增产效果,施肥处理的树高和胸径分别比不施肥的增加0.8%~57.1%和10.1%~55.3%;年均材积平均每公顷增长0.88014~2.81704 m<sup>3</sup>。

(2) 最佳施肥处理(配方)是每公顷施肥量为尿素(含N 460 g·kg<sup>-1</sup>)100 kg、过磷酸钙(含P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 140 g·kg<sup>-1</sup>)250 kg、氯化钾(含K<sub>2</sub>O 600 g·kg<sup>-1</sup>)37.5 kg。

(3) 在人工接种弗兰克氏菌的木麻黄幼林三要素施肥中, 第 1、2 年以 P 肥为主要影响因素, 第 3、4 年以 N 肥为主要影响因素。

(4) 木麻黄施肥处理的树高和胸径增长率在第 2 年达到最高值, 随着林龄的增加, 增长率下降。表明施肥的时效性在第 2 年为最大肥效时间, 随着林龄的增加肥效下降。

(5) 施肥处理的叶片 N 含量比不施肥的高, 不同施肥处理叶片 N 含量的差异基本与材积的差异相吻合。

#### 参考文献:

- [1] 徐燕千, 劳家骥. 木麻黄栽培[M]. 北京: 中国林业出版社, 1984.
- [2] 黄家彬. 林木施肥现状和福建人工林施肥问题讨论[J]. 福建林业科技, 1990, (3): 11~16.
- [3] 康丽华. 木麻黄根瘤内生菌——弗兰克氏菌侵染特性的研究[J]. 林业科学研究, 1997, 10(3): 233~236.
- [4] Murry M A. Growth kinetics and nitrogenase induction in *frankia* sp. HFPPArI growth in batch culture [J]. Plant and Soil, 1984, (78): 61~78.
- [5] 康丽华. 木麻黄弗兰克氏菌接种技术与接种效果的研究[J]. 林业科学研究, 1997, 10(4): 341~347.

## Study on the Effect of Fertilization on Young Trees of *Casuarina* Inoculated with *Frankia*

KANG Li-hua<sup>1</sup>, LI Su-eui<sup>1</sup>, PENG Yao-qiang<sup>2</sup>,  
LIU Yu-lin<sup>2</sup>, CHENG Hua-cheng<sup>2</sup>, LUO Cheng-jiu<sup>2</sup>

(1. The Research Institute of Tropical Forestry, CAF, Guangzhou 510520, Guangdong, China;

2. Guangdong Forestry Department, Guangzhou 510173, Guangdong, China)

**Abstract:** The fertilization experiment for young *Casuarina equisetifolia* plantation inoculated with *Frankia* was conducted. The results showed that the effect of fertilization of *C. equisetifolia* young trees inoculated with *Frankia* were significant on trees growth, the mean tree height, DBH and volume for the application fertilizer were 0.8%~57.1%, 10.1%~55.3% and 0.880 14~2.817 04 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup> than that of the control treatment (no fertilizer treatment). The optimum recipe were the N<sub>100</sub>P<sub>250</sub>K<sub>37.5</sub> treatment. P fertilizer was a primary factor for growth at the first and second year, N fertilizer was a primary factor for growth at the third and fourth year. The N contents in foliage were also obviously different among the treatments.

**Key words:** inoculation of *Frankia*; young *Casuarina* plantation; amount of fertilizer; applied fertilizer recipe; fertilization effect