

树木营养 与施肥研究

STUDIES ON NUTRIENT AND
FERTILIZATION IN WOODY PLANTS

张建国 李贻铨 著

中国林业出版社

树木营养与施肥研究

STUDIES ON NUTRIENT AND FERTILIZATION
IN WOODY PLANTS

张建国 李贻铨 著

中国林业出版社

图书在版编目(CIP)数据

台湾农业生物科技:研究成果与研究机构/郑金贵编. 厦门:厦门大学出版社,2010.2
ISBN 978-7-5615-3448-9

I. 台… II. 郑… III. 农业技术:生物技术-台湾省 IV. S188

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 019236 号

厦门大学出版社出版发行

(地址:厦门市软件园二期望海路 39 号 邮编:361008)

<http://www.xmupress.com>

[xmup @ public. xm. fj. cn](mailto:xmup@public.xm.fj.cn)

厦门集大印刷厂印刷

2010 年 2 月第 1 版 2010 年 2 月第 1 次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:61.5

插页:12 字数:1571 千字

定价:150.00 元

本书如有印装质量问题请直接寄承印厂调换

前言

为了解决中国木材资源供需矛盾,国务院于1989年批准建立速生丰产林。为了实现这一宏伟目标,国家林业局最近提出在我国南方和东北的一些重点地区发展速生丰产林的策略。实践表明,发展速生丰产林是解决木材供需矛盾的有效途径。

目前,中国人工林面积达到3425万 hm^2 ,居世界首位,但是其质量比较差,成熟林林分的蓄积只有 $75.14\text{m}^3/\text{hm}^2$ 。造成这一结果的原因不只是低投入和粗放管理,也有科技投入不足的因素。人工林没有适当施肥和栽培技术不能适应贫瘠土壤也是重要的原因。

本书是作者近10年关于树木营养特性和施肥技术研究成果的总结。研究工作得到了3个国家研究项目的支持,即世界银行国家造林项目“主要速生丰产林施肥技术与示范”,“八五”国家攻关项目“主要工业用材林施肥及土壤肥力维护研究”,国家自然科学基金项目“中国人工林长期生产力维持机制研究”。

全书的主要内容由两部分组成:第一部分介绍南方主要造林树种苗木营养特性。特别是基于光合产物分配和营养平衡理论的新的营养诊断方法。研究树种有杉木、湿地松、尾叶桉。新的诊断方法其要点为:①当异速生长模型($S = aR^k$,这里异速生长模型反映了苗木根冠干物质分配的关系)参数 $k < 1$ 时,表明根系的相对生长速率高于冠层,苗木处于营养亏缺状态;②参数 $k > 1$ 时,表明根系的相对生长速率低于冠层,苗木处于营养过剩状态,但是这种状态一般在自然条件下不会出现;③当参数 $k = 1$ 时,表明根系的相对生长速率等于冠层,苗木处于营养平衡状态。根据新的营养诊断方法,制定了杉木、湿地松和尾叶桉叶片和土壤营养诊断标准,并通过大量施肥试验,证明了新的诊断方法的正确性和可靠性。

第二部分系统介绍了南方主要造林树种生长对施肥的反应。研究树种有杉木、湿地松、尾叶桉、杨树。施肥技术研究包括林分不同生长阶段,如幼林、近熟林和成熟林。研究结果表明,合理的施肥能显著提高林分生长量,缩短林分郁闭时间,获得好的经济效益。因此,施肥是发展工业人工林的一项基础技术。

本书在编写过程中得到许多朋友的热情支持和帮助,郑勇奇博士对全书英文部分进行了修订,在此一并表示衷心的感谢。当然,由于作者的能力和水平所限,定会有许多不足之处,希望同行专家和读者多提宝贵意见。

张建国 李贻铨

2001年4月20日

PREFACE

To solve the contradiction in supply and demand of China's wood resources, in 1989, the State Council had approved the industry policy to establish fast-growing and high-yield plantation. To achieve this ambitious goal, the State Forestry Administration has recently proposed the strategy to develop fast-growing and high-yield plantation in northeast and southern China.

Currently, the total area of plantation in China is up to 3425 million hm^2 , the largest in the world, but the quality is poorer. The stand volume of mature plantation is only $75.14 \text{ m}^3/\text{hm}^2$. The reasons for this are not only due to the lower investment and poor management but also the lack of scientific input. Other two important causes are that plantations have not been reasonably fertilized and that cultivation technology were not suited the poorer soil.

This book is a collection of written research papers on nutritional characteristics and fertilization technologies in woody plants in recent ten years, research works are mainly supported by three national projects: "Research and demonstration of fertilization technology of main high-yield plantations" belonging to National Afforestation Program funded by World Bank, "Research on fertilization of main industrial timber plantations and maintenance of soil fertility" which is one of the key projects of China's 8th five year plan, "Research on mechanism of maintenance of long term productivity for main industrial plantation tree species in China" which is one of the key project of China's Natural Science Foundation.

The book comprises two parts:

Part 1, introduction nutrient characteristics of seedlings of main industrial plantation tree species (such as Chinese fir, Slash pine, Masson pine, Timor mahogany, etc.), especially new method of nutritional diagnosis based on the allocation of the photosynthetic products and theory of nutrient balance. The new diagnosis method can be expressed as: ① If the parameter k of Allometric model ($S = aR^k$, here Allometric model describes relationship between root and shoot) was lower than 1 ($k < 1$), the relative growth rate of root is higher than that of shoot and seedlings are in nutrient deficiency. ② If $k > 1$, the relative growth rate of root is lower than that of

shoot and seedlings are over-nutritious . But this situation never occurs naturally. ③ When $k = 1$, the relative growth rate of root equals to that of shoot and seedlings are in nutrition equilibrium. According to the new diagnosis method, the standards for soil and leaf nutrient diagnosis of Chinese fir, Slash pine, and Timor mahogany are developed and have been proved to be feasible by a number of fertilization experiments on young stands, half-mature stands and near-mature stands.

Part 2, systematic introduction of the growth response of plantation to fertilization. Species studied including Chinese fir, Slash pine, Timor mahogany, and Poplar. Fertilization at different growth stages, such as young stands, half-mature and near-mature. Results showed that good fertilization treatments can increase stands growth increment remarkably, shorten stand closure time, and obtain good economic benefit. Therefore, fertilization is a basic technology to the development of industrial plantations.

The studies on nutritional characteristics and fertilization technologies in woody plants were gained strong support and great help from many friends, Dr. Zheng Yongqi helped us to revise the English part, many thanks to them. Certainly, some mistakes and defects may still exist because of limitation of our ability. We warmly invite forestry specialists and readers to provide suggestions.

Dr. Prof. Zhang Jianguo

Prof. Li Yiquan

April 20, 2001

目 录

前言

一 南方主要造林树种苗木营养特性研究

酸性土壤上磷素营养对杉木、湿地松和尾叶桉苗木生长的影响	张建国	万细瑞(2)
酸性土壤上磷素营养对杉木、湿地松和尾叶桉苗木根冠比干物质分配模型的影响	张建国	李贻铨(9)
酸性土壤上施 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 对尾叶桉、湿地松、杉木苗木养分浓度及累积分配的影响	张建国	李贻铨(18)
施 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 对盆栽尾叶桉、杉木和湿地松苗木土壤养分含量及利用效率的影响	张建国	李贻铨(26)
酸性土壤上杉木、湿地松和尾叶桉苗木磷素营养效率差异的研究	张建国	万细瑞(31)
酸性土壤上磷素营养对湿地松和尾叶桉苗木光合特性的影响	张建国	万细瑞(37)
酸性土壤上杉木、湿地松和尾叶桉苗木营养诊断研究	张建国	李贻铨(46)
杉木营养特性研究——N、P、NP 营养对苗木生长和光合产物分配的影响	张建国	熊有强(53)
杉木营养特性研究——营养平衡与苗木干物质的分配关系	张建国	盛炜彤(63)
杉木营养特性研究——施肥对土壤养分含量的影响	张建国	罗红艳(74)

二 南方主要造林树种施肥效应研究

杉木幼林施肥肥效与增益持续性研究	李贻铨	张建国(86)
杉木幼林施肥的时效性研究	张建国	李贻铨(98)
杉木幼林施肥对生物量影响的研究	张建国	李贻铨(106)
施肥对杉木幼林根系生长影响的研究	张建国	李贻铨(114)
杉木近熟林施肥研究(Ⅰ)	张建国	(124)
杉木近熟林施肥研究(Ⅱ)	李贻铨	彭立平(130)
粉煤灰覆田立地欧美杨施肥效应研究	张建国	(148)
粉煤灰覆田立地欧美杨营养诊断研究	张建国	(155)
粉煤灰覆田立地覆土、压青造林研究	张建国	(160)
整地施肥对 I-69 杨人工林生长效应的研究	李贻铨	陈道东(167)
整地施肥对 I-69 杨后期生长与砂姜黑土性质的影响	李贻铨	丁应祥(175)
尾叶桉幼林施肥效应研究	张建国	李贻铨(186)
林木不同生长指标对施肥反应敏感性的数学分析	张建国	李贻铨(193)
林木施肥在林业可持续发展中的意义与作用	李贻铨	(204)

CONTENTS

PREFACE

Part 1 Nutritional characteristic of seedlings in main afforestation tree species in southern China

- Effects of phosphorus nutrient s on growth of Chinese fir ,Slash pine and Timor mahogany seedlings on acidic soil *Zhang Jianguo Wan Xirui*(2)
- Effects of different phosphorus treatments on the dry matter allocation in seedlings of Chinese fir, Slash pine and Timor mahogany on acidic soil *Zhang Jianguo Li Yiquan*(9)
- Influences of $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ treatments on nutrient concentration and accumulation in seedlings of Timor mahogany, Chinese fir and Slash pine on acidic yellow soil *Zhang Jianguo Li Yiquan*(18)
- Influences of $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ treatments on soil nutrient contents and nutrient use efficiency of the potted seedlings *Zhang Jianguo Li Yiquan* (26)
- Differences of phosphorus use efficiency in Chinese fir, Slash pine and Timor mahogany seedlings *Zhang Jianguo Wan Xirui*(31)
- Effects of phosphorus treatments on photosynthesis characteristics of *P. elliottii* Engelm and *E. urophylla* seedlings *Zhang Jianguo Wan Xirui*(37)
- Nutritional diagnosis for seedlings of Chinese fir, Slash pine and Timor mahogany seedlings on acidic yellow-red soil *Zhang Jianguo Li Yiquan*(46)
- Nutritional characteristics of Chinese fir—effects of N, P and NP nutrients on growth and the allocation of photosynthetic products in seedlings *Zhang Jianguo Xiong Youqiang*(53)
- Nutritional characteristics of Chinese fir—relationship between the nutrition balance and the allocation of photosynthetic products in seedlings *Zhang Jianguo Sheng Weitong*(63)
- Nutritional characteristics of Chinese fir—effects of fertilization on soil nutrition *Zhang Jianguo Luo Hongyan*(74)

Part 2 Effects of fertilization on the growth of main afforestation tree species in southern China

Growth response of young Chinese fir to fertilizers and its post-effect

.....	<i>Li Yiquan Zhang Jianguo</i>	(86)
Timing of growth response to fertilization for young <i>Cunninghamia lanceolata</i>	.....	<i>Zhang Jianguo Li Yiquan</i> (98)
Effect of fertilization on biomass of young Chinese fir plantation	.....	<i>Zhang Jianguo Li Yiquan</i> (106)
Effect of fertilization on roots of young Chinese fir	<i>Zhang Jianguo Li Yiquan</i>	(114)
Effect of fertilization on growth of near-mature Chinese fir forest (I )	.....	<i>Zhang Jianguo</i> (124)
Effect of fertilization on growth of near-mature Chinese fir forest(II )	.....	<i>Li Yiquan Peng Liping</i> (130)
Effect of fertilization on growth of <i>Populus × euramericana</i> in reclaimed Coal ash area	.....	<i>Zhang Jianguo</i> (148)
Nutritional diagnosis of <i>Populus × euramericana</i> in reclaimed Coal ash area	.....	<i>Zhang Jianguo</i> (155)
Effect of of soil-covering and green manuring on tree growth in reclaimed Coal ash area	.....	<i>Zhang Jianguo</i> (160)
Growth response of <i>populus deltoides</i> cv. “Lux” (I-69/55) to site preparation and Fertilization	.....	<i>Li Yiquan Chen Daodong</i> (167)
Effects of site preparation and fertilization on growth of <i>Populus deltoides</i> cv. “Lux”(I-69/55) and property of Lime Concretion Fluvo-aquic soil	<i>Li Yiquan Ding Yingxiang</i>	(175)
Growth response of Timor mahogany young plantation to fertilization	.....	<i>Zhang Jianguo Li Yiquan</i> (186)
Sensitivity analysis of growth response to fertilization	<i>Zhang Jianguo Li Yiquan</i>	(193)
The role and implication of fertilization on forest trees in forestry sustainable development	.....	<i>Li Yiquan</i> (204)

—

南方主要造林树种苗木 营养特性研究

酸性土壤上磷素营养对杉木、湿地松和尾叶桉苗木生长的影响*

张建国

万细瑞

(中国林业科学研究院林业研究所) (中国林业科学研究院亚热带林业实验中心)

摘要 本文应用盆栽试验方法,研究了酸性黄红壤上不同磷营养水平对杉木、湿地松、尾叶桉苗木生长的影响。结果表明:①随着磷素营养水平的提高,湿地松、杉木苗高随之提高,苗高最大值均出现在0.12%磷营养水平,苗高分别达到14.3cm和35cm,比对照分别提高36%和30%。尾叶桉的变化随磷营养水平的变化规律与杉木和湿地松不同,在0.025~0.08%范围内,随着供磷水平的提高,苗高生长量也越大,但超过0.08%供磷水平后,苗木生长反而受抑。②从3个树种苗高、地径比对照提高的百分数来看,苗高的增加幅度明显大于地径,表明在苗期,苗高对磷素的反应要比地径敏感。③苗木总生物量随磷营养水平的提高而增加,在0.08%供磷水平达到最大。④湿地松4个生物量指标对磷素肥效反应的敏感性顺序为:叶>总干重>茎>根;尾叶桉为:茎>叶、根;杉木为:叶>茎>根,但根系呈负增长,主要原因是来自肥料 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 中氮素毒害作用的结果。

关键词 酸性土壤 磷营养 杉木 湿地松 尾叶桉 苗木生长

磷是树木生长发育最为重要的营养元素之一。在我国南方,发育于第四纪红色粘土等母质上的红壤、赤红壤、黄红壤等土壤,其速效磷含量很低(一般低于2mg/kg)。土壤中的磷大部分以难溶性的磷酸铝盐(Al-P)、磷酸铁盐(Fe-P)、磷酸钙盐(Ca-P)和闭蓄态磷(O-P)形态存在,尤其是闭蓄态磷含量最高。因此,生长在酸性土壤上的树木常常处于磷营养亏缺的状态。本项研究采用盆栽试验的方法,探讨了不同磷营养水平对杉木、湿地松、尾叶桉苗木生长的影响,以期为苗木的培育、幼林施肥提供基础理论依据。整个试验在中国林业科学研究院亚热带林业实验中心树木园进行。

1 材料和方法

1.1 材料

供试树种有杉木 [*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.]、湿地松 (*Pinus elliottii* Engelm.) 和尾叶桉 (*Eucalyptus urophylla* S.T. Blake)。杉木为1年生扦插苗,湿地松为当年播种的移栽芽苗,尾叶桉为当年播种移植苗。杉木、湿地松定植在泥盆(规格为28cm×19cm×18cm),每盆定植4株。尾叶桉定植于塑料桶(31cm×20cm×22cm)中,每盆定植

* 基金项目:“八五”国家攻关专题(85-018-02-03)和国家林业局林木培育重点实验室基金项目(03)资助。

3株。供试土壤为黄红壤,取自树木园0~30cm土层,经捣碎混均而成。土壤pH为5.5,有机质为0.64%,全氮为0.124%,速效氮为119mg/kg,速效钾为65mg/kg,速效磷为1.77mg/kg。

1.2 试验设置

3个树种共设计5个供磷水平,分别为:ck(对照),1(0.02%),2(0.04%),3(0.08%),4(0.12%)。百分数表示土壤含磷量,每个水平重复5次,随机排列。苗木缓苗期在温室下培育,然后移到大田塑料棚下。供试肥料为国家造林项目肥料 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 。

1.3 指标测定

施肥前测量一次苗高,施肥后每隔10天量测一次苗高。最后(8月30日)将苗木全部挖出洗净,测定苗高(cm)、地径(cm),根、茎、叶干物质重(g),主根长(cm),一级侧根数(条)等指标。

2 结果分析

2.1 不同磷营养水平下苗木高生长进程分析

表1为不同供磷水平下尾叶桉苗木高生长进程表。从表1可以明显看出,苗木施磷后高生长显著大于对照(未施磷),从而表明酸性黄红壤P素亏缺对尾叶桉苗木生长的影响是极其深刻的。此外,尾叶桉苗木高生长对磷素营养的反应有其最适水平,当超过最适营养水平后,反而会抑制苗木的生长。表1表明,当年生尾叶桉苗木磷营养最适水平在0.04%~0.08%范围内。

表2为不同供磷水平下杉木苗木高生长进程表。表2表明,在低磷营养水平下(0.02%),苗木高生长在6月20日至7月30日,反而低于对照,7月30日后与对照差异消失。0.04%和0.08%两个供磷水平的高生长进程基本一致,无明显差异,其变化规律是:在6月10日至7月10日,其高生长进程与对照无明显差异,7月10日后,高生长超过对照。0.12%磷营养水平其苗木明显高于对照和其他供磷水平。

表3为不同供磷水平下湿地松苗木高生长进程表。从表3可以明显看出,湿地松苗木高生长进程对磷素肥效的反应与尾叶桉、杉木不完全相同,有其本身的特点。苗木在施肥后一段时间内,施磷的苗木高生长均低于对照。如0.02%供磷水平,在6月20日至7月20日,苗木高生长明显低于对照,8月1日后,差异消失。0.04%供磷水平在6月20日至7月20日期间,高生长低于对照,8月1日后超过对照。0.08%和0.12%两个供磷水平,在6月20日至7月10日期间,高生长低于对照,7月20日后超过对照。由上分析可见,随着供磷水平的提高,施磷对苗木初期高生长的抑制作用消失的速度也越快。此外,从表3还可以看出,0.12%供磷水平对湿地松苗木高生长的促进作用最大,这一点与杉木是完全一致的。关于杉木在低磷水平下和湿地松在施磷初期苗木高生长受抑制的原因可能是由于肥料 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 中N素作用的结果。杉木施肥的实践表明,在幼林阶段,由于N素比较充足,施N反而对杉木幼林生长有负效应。

表 1 不同供磷水平对尾叶桉苗木高生长进程的影响

Table 1 Effects of different phosphorus treatments on height growth of Timor mahogany seedlings

单位: cm

水 平 Treatment	日 期 Date							
	6 月 20 日 20th, Jun.	6 月 30 日 30th, Jun.	7 月 10 日 10th, Jul.	7 月 20 日 20th, Jul.	7 月 30 日 30th, Jul.	8 月 10 日 10th, Aug.	8 月 20 日 20th, Aug.	8 月 30 日 30th, Aug.
ck	1.55	2.59	4.77	7.71	11.20	16.03	22.47	34.83
1	1.89	5.42	14.95	20.79	35.37	43.60	47.57	63.99
2	2.08	5.81	15.13	25.59	42.20	54.13	63.33	74.64
3	2.62	6.28	16.43	25.09	42.40	53.67	68.93	82.33
4	2.37	6.65	15.78	23.12	32.67	41.90	50.50	66.11

表 2 不同供磷水平对杉木苗木高生长进程的影响

Table 2 Effects of different phosphorus treatments on height growth of Chinese fir seedlings

单位: cm

水 平 Treatment	日 期 Date							
	6 月 1 日 1st, Jun.	6 月 10 日 10th, Jun.	6 月 20 日 20th, Jun.	6 月 30 日 30th, Jun.	7 月 20 日 20th, Jul.	7 月 30 日 30th, Jul.	8 月 10 日 10th, Aug.	8 月 20 日 20th, Aug.
ck	18.2	20.7	21.7	23.7	24.0	24.7	25.7	26.8
1	16.2	16.3	17.8	19.2	19.3	23.3	25.3	26.3
2	16.7	20.2	21.2	22.8	24.8	27.0	28.3	31.3
3	16.5	21.1	21.8	23.7	25.0	26.7	28.0	30.5
4	19.0	24.5	26.0	27.5	28.8	31.3	32.3	33.7

表 3 不同供磷水平对湿地松苗木高生长进程的影响

Table 3 Effects of different phosphorus treatments on height growth of Slash pine seedlings

单位: cm

水 平 Treatment	日 期 Date						
	6 月 20 日 20th, Jun.	6 月 30 日 30th, Jun.	7 月 10 日 20th, Jul.	7 月 20 日 20th, Jul.	8 月 1 日 1st, Aug.	8 月 10 日 10th, Aug.	8 月 20 日 20th, Aug.
ck	2.94	4.22	5.37	6.58	7.34	7.80	8.76
1	2.02	3.15	4.32	5.57	7.28	7.52	8.63
2	1.98	3.24	4.60	5.88	7.82	8.83	10.03
3	2.27	3.92	5.18	6.63	8.97	9.79	11.44
4	2.30	3.62	5.25	6.92	9.81	10.32	13.12

2.2 不同磷素营养水平对苗木生长的影响

表 4~表 6 为不同磷营养水平下湿地松、杉木、尾叶桉苗木生长状况表。从表 4~表 6 可以看出,随着磷素营养水平的提高,湿地松、杉木苗高随之提高,苗高最大值均出现在 0.12% 磷营养水平,苗高分别达到 14.3cm 和 35cm。尾叶桉的变化随磷营养水平的变化规律与杉木和湿地松不同,在 0.02%~0.08% 范围内,随着供磷水平的提高,苗高生长量也越大。但超过 0.08% 供磷水平后,苗木生长反而受抑,这与前面生长进程的分析是一致的。

地径随磷营养水平的变化趋势与苗高基本一致。此外,从表4~表6还可以明显看出,不同供磷水平对尾叶桉苗高和地径的促进作用显著大于杉木和湿地松,如在0.08%磷营养水平,尾叶桉的苗高、地径分别为82cm和0.61cm,比对照提高了134%和118%,而湿地松、杉木苗高分别为13.2cm和31cm,比对照增加25.7%和15%,地径分别为0.18cm和0.50cm,比对照增加了5.9%和6.4%。显然,磷素对尾叶桉的生长效应要大于杉木和湿地松,这一点与幼林施肥研究是完全一致的。此外,从3个树种苗高、地径比对照提高的百分数来看,苗高的增加幅度明显大于地径,表明在苗期,苗高对磷素的反应要比地径敏感。

表4 不同磷营养水平对湿地松苗木生长的影响

Table 4 Effects of different phosphorus treatments on the growth of Slash pine seedlings

水平 Treatment	苗高 Height (cm)	地径 Basal diameter (cm)	一级侧根数(条/株) Number of first class lateral roots (No./tree)	主根长 Taproot length (cm)
ck	10.5	0.17	14	17
0.02%	10.8	0.17	10	15
0.04%	12.0	0.17	12	14
0.08%	13.2	0.18	12	14
0.12%	14.3	0.21	12	15

表5 不同磷营养水平对杉木苗木生长的影响(1994年8月30日)

Table 5 Effects of different phosphorus treatments on the growth of Chinese fir seedlings

水平 Treatment	苗高 Height (cm)	地径 Basal diameter (cm)	一级侧根数(条/株) Number of first class lateral roots (No./tree)
ck	27	0.47	33
0.02%	27	0.50	27
0.04%	31	0.50	25
0.08%	31	0.50	29
0.12%	35	0.51	25

表6 不同磷营养水平对尾叶桉苗木生长的影响(1994年8月30日)

Table 6 Effects of different phosphorus treatments on the growth of Timor mahogany seedlings

水平 Treatment	苗高 Height (cm)	地径 Basal diameter (cm)	一级侧根数(条/株) Number of first class lateral roots (No./tree)	主根长 Taproot length (cm)
ck	35	0.28	13	31
0.02%	64	0.52	26	44
0.04%	75	0.59	23	54
0.08%	82	0.61	21	41
0.12%	66	0.58	15	34

此外,从表4、表5还可以看出,磷营养亏缺解除后,湿地松、杉木苗木一级侧根数减少,主根长度下降。尾叶桉与杉木和湿地松不同,随着磷素营养亏缺解除后,侧根数和主根长随之增加,但超过最适营养(0.08%)后,侧根数和主根长随之下下降,这与苗高和地径的变化规律也是一致的。要指出的是杉木、湿地松与尾叶桉根系的这种差异实际上是由其磷营养基因型的差异作用的结果。

2.3 不同磷素营养水平对苗木生物量的影响

表 7 表明,随着磷营养水平的提高,尾叶桉苗木的根、茎、叶干物质产量随之增加,但是超过最适营养(0.08%)水平后,干物质产量随之下降。与对照相比,在 0.02%~0.12% 供磷范围内,苗木茎干重提高了 674.5%~986.3%,根和叶干重提高了 228.9%~412.4% 和 284.4%~385.4%,很明显,尾叶桉茎干重对磷素肥效的反应要比根和叶敏感得多。

表 8 为不同磷营养水平下湿地松苗木生物量表。从表 8 可以看出,湿地松苗木茎、叶干物质产量随着磷营养水平的提高而增加,在 0.12% 磷营养水平时,生物量最高,根干重在 0.08% 营养水平时达到最大。从总干重来看,当供磷水平超过 0.08% 后,便趋于稳定,与对照相比,根增加了 3.7%~12.3%,茎增加 16.8%~92.8%,叶增加 35.4%~163.5%,总干重增加 22.7%~102.3%。显然 4 个生物产量指标对磷素肥效反应的敏感性顺序为:叶>总干重>茎>根重。这一排序表明,湿地松和尾叶桉各生物量指标对磷素肥效反应的敏感性并不一致。

表 9 为不同磷营养水平下杉木生物量表。表 9 表明,在 0.02%~0.12% 磷营养水平范围内,施磷反而使杉木根系生长受到抑制(根干重均低于对照),这一点杉木与湿地松、尾叶桉完全不同。根系生长受抑制的原因可能有两个方面:一是来自肥料 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 中的 N 素作用的结果(杉木幼磷阶段施肥试验表明,N 素对生长有抑制作用),由于在苗木阶段,供试土壤的 N 素比较充足,增施 N 必然对生长产生抑制作用,而首先作用部位就是根系;二是由于磷营养亏缺的解除,苗木根冠功能平衡发生变化,光合产物主要向地上部分累积。实际上,在磷营养亏缺状态下,杉木根系的这种特性主要还是苗木本身对磷营养亏缺的适应,庞大的根系有利于吸收更多的磷。

表 7 不同磷营养水平对尾叶桉苗木生物量的影响

Table 7 Effects of different phosphorus treatments on the biomass of Timor mahogany seedlings

水 平 Treatment	根 Root dry weight		茎 Stem dry weight		叶 Leaf dry weight		总干重 Total dry weight	
	(g/tree)	(%)	(g/tree)	(%)	(g/tree)	(%)	(g/tree)	(%)
ck	0.443	100	0.565	100	1.057	100	2.066	100
0.02%	2.270	512.4	4.552	804.4	4.650	439.9	11.473	555.3
0.04%	1.793	404.7	4.383	774.5	4.063	384.4	10.439	505.3
0.08%	1.927	434.9	6.147	1086.3	5.131	485.4	13.206	639.2
0.12%	1.457	328.9	5.039	890.5	4.488	424.6	10.985	531.6

表 8 不同磷营养水平对湿地松苗木生物量的影响

Table 8 Effects of different phosphorus treatments on the biomass of Slash pine seedlings

水 平 Treatment	根 Root dry weight		茎 Stem dry weight		叶 Leaf dry weight		总干重 Total dry weight	
	(g/tree)	(%)	(g/tree)	(%)	(g/tree)	(%)	(g/tree)	(%)
ck	0.1102	100	0.0722	100	0.1194	100	0.3816	100
0.02%	0.1143	103.7	0.0843	116.8	0.2699	135.4	0.4685	122.7
0.04%	0.1186	107.6	0.0936	129.6	0.3784	189.8	0.5906	154.7
0.08%	0.1238	112.3	0.1289	178.5	0.5199	260.7	0.7726	202.3
0.12%	0.1172	106.4	0.1392	192.8	0.5255	263.5	0.7719	202.1

表 9 不同磷营养水平对杉木苗木生物量的影响

Table 9 Effects of different phosphorus treatments on the biomass of Chinese fir seedlings

水 平 Treatment	根 Root dry weight		茎 Stem dry weight		叶 Leaf dry weight		总干重 Total dry weight	
	(g/tree)	(%)	(g/tree)	(%)	(g/tree)	(%)	(g/tree)	(%)
ck	3.652	100	1.158	100	2.289	100	7.099	100
0.02%	2.752	75.36	1.155	100	2.964	129.5	6.872	98.2
0.04%	2.644	72.39	1.104	95.4	2.442	106.7	6.190	88.4
0.08%	3.492	95.61	1.470	126.9	3.392	148.2	8.353	117.9
0.12%	2.862	78.35	1.523	131.5	3.445	150.5	7.829	110.4

与根系不同, 茎和叶干物质产量均随磷营养水平的提高而增加, 与对照相比, 叶增加的幅度最大, 为 6.7%~50.5%, 茎增加 31.5%。显然杉木叶干重对磷素肥效的反应最为敏感, 这一点与湿地松是完全一致的。

3 结 论

(1) 随着磷素营养水平的提高, 湿地松、杉木苗高随之提高, 苗高最大值均出现在 0.12% 磷营养水平。尾叶桉的变化随磷营养水平的变化规律与杉木和湿地松不同, 在 0.02%~0.08% 范围内, 随着供磷水平的提高, 苗高生长量也越大, 但超过 0.08% 供磷水平后, 苗木生长反而受抑。3 个树种苗高的增加幅度明显大于地径, 表明在苗期, 苗高对磷素的反应要比地径敏感。

(2) 3 个树种苗木总生物量随磷营养水平的提高而增加, 在 0.08% 供磷水平时均达到最大。湿地松 4 个生物量指标对磷素肥效反应的敏感性顺序为: 叶>总干重>茎>根; 尾叶桉为: 茎>叶、根; 杉木为: 叶>茎>根, 但根系呈负增长, 主要原因是来自肥料 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 中的 N 素毒害作用的结果。

(3) 酸性土壤上 P 素亏缺是限制树木生长的主要因子, 研究不同供磷水平对杉木、湿地松、尾叶桉苗木生长的影响, 不仅可为苗木的培育、林木施肥提供基础理论依据, 而且可以通过比较研究, 阐明不同基因型树种对磷素营养亏缺的适应机制及营养特性, 为选择磷素营养高效基因型树种提供基础资料。

参 考 文 献

- [1] 李贻铨, 张建国等. 杉木幼林施肥肥效与增益持续性研究. 林业科学研究, 1996
- [2] 李贻铨, 徐清彦等. 杉木幼林前 5 年施肥效应研究. 土壤通报, 1991, 22 (1): 28~32
- [3] 盛伟彤主编. 人工林地力衰退研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1992, 198~211
- [4] 主要树种丰产林施肥课题中心组. 杉、松、桉幼林 2 年施肥效应. 林业科学研究, 1995, 8 (2): 1~6
- [5] 林书荅, 廖观荣等. 森林与土壤. 北京: 中国科学技术出版社, 1992, 287~293

Effect of phosphorus nutrient on growth of Chinese fir, Slash pine and Timor mahogany seedlings on acidic soil

Zhang Jianguo

Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091

Wan Xirui

Subtropical Experiment centre of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 336600

Abstract Effects of different phosphorus nutrient treatments on the growth of Chinese fir, Slash pine and Timor mahogany seedlings on acidic soil were studied. Phosphorus treatments include five nutrient levels of 0.0% (ck), 0.02%, 0.04%, 0.08%, 0.12% (percentage stands for the ratio of amount of P supply to fresh soil weight). The results showed that: ① The height growth of Chinese fir and Slash pine seedlings increased with the increase of amount of phosphorus supply, the maximum value of height growth appeared at 0.12% level. But Timor mahogany was different from Chinese fir and Slash pine, height growth of seedling increased at 0.02% ~ 0.08% levels, and reduces above 0.08% level. Because height increments of the three species were higher than that of stem diameters, it indicated that the response of seedling height to phosphorus nutrient was higher than that of stem diameter. ② The total dry weight of seedlings of the three species increased with increase of P nutrient, the total dry matter reached the maximum at 0.08% level. The response of biomass indicators to P nutrient was leaf > stem > root in Slash pine and Chinese fir seedlings, stem > leaf and root in Timor mahogany seedlings.

Key words: Acidic soil, Seedling, Growth, Chinese fir, Slash piine, Timor mahogany.