

西南桦配比施肥试验

陈碧华^{1*}, 方碧江², 张娟¹, 廖银珍², 陈彩玲², 林玉清², 陈清根², 郭俊杰³, 曾杰^{3*}

(1. 福建省林业科学研究院, 福建 福州 350012; 2. 福建省华安金山国有林场, 福建 华安 363803;
3. 中国林业科学研究院热带林业研究所, 广东 广州 510520)

摘要: 【目的】为探索西南桦人工纯林最佳生长量, 于福建省华安县金山林场万世清工区开展西南桦人工纯林施肥试验。【结果】氮肥试验各种处理对无性系 1、2、3 的树高、胸径、材积均无显著差异或极显著差异; 但氮肥试验对无性系 4 的树高、胸径、材积有显著差异或极显著差异; 处理 5 为最优选择。不同氮肥处理, 在有机质、全 N、全 P、全 K、碱解 N、有效 P、速效 K、活性 Al 的变化方面, 各处理之间均没有显著差异或极显著差异。在 pH 值、有效 Mg 方面, 仅第 4 处理与其它处理有显著差异, 处理 4 优于第 7 处理, 其中第 4 处理与第 7 处理有显著差异或极显著差异。磷肥试验各种处理对 4 个无性系的树高、胸径、材积的各种处理之间均没有显著差异或极显著差异。在磷肥作为基肥, 施用 500g/穴和 1000g/穴, 早期对西南桦苗造成伤害, 叶片变黄, 后期逐渐恢复。不同磷肥处理, 在 pH 值、有机质、全 N、全 P、全 K、碱解 N、有效 P、速效 K、有效 Mg、活性 Al 的变化方面, 各处理之间, pH 值有显著差异, 处理 1>处理 7; 有机质有显著差异, 处理 7>处理 5; 速效 K 有显著差异, 处理 7>处理 6。各处理之间没有极显著差异。氮肥试验以处理 5 为佳, 每穴施 500g 过磷酸钙作为基肥, 即第一年第一次以 50g 尿素、30g 氯化钾为追肥; 第二次以 100g 尿素、60g 氯化钾作为追肥。第二年第一次以 100g 尿素、60g 氯化钾为追肥、第二次以 150g 尿素、90g 氯化钾作为追肥。第三年第一次以 0g 尿素、90g 氯化钾为追肥、第二次以 0g 尿素、0g 氯化钾作为追肥。磷肥以处理 5 为佳: 基肥过磷酸钙 250g, 追肥即第一年第一次以 50g 尿素、30g 氯化钾为追肥; 第二次以 100g 尿素、60g 氯化钾作为追肥。第二年第一次以 100g 尿素、60g 氯化钾为追肥、第二次以 150g 尿素、90g 氯化钾作为追肥。第三年第一次以 150g 尿素、90g 氯化钾为追肥、第二次以 0g 尿素、0g 氯化钾作为追肥。【结论】基肥过磷酸钙 250g/株为佳, 以尿素和氯化钾作为追肥, 即第一年第一次以尿素 50g/株、氯化钾 30g/株为追肥; 第二次以尿素 100g/株、氯化钾 60g/株作为追肥。第二年第一次以尿素 100g/株、氯化钾 60g/株为追肥、第二次以尿素 150g/株、氯化钾 90g/株作为追肥。第三年第一次以尿素 0g/株、氯化钾 90g/株为追肥、第二次以尿素 0g/株、氯化钾 0g/株作为追肥。造林后 38 个月调查, 平均单株树高达到 6.76 m, 胸径达到 10.02 cm, 材积达到 25.63 dm³。

关键词: 西南桦; 无性系; 施肥; 尿素; 氯化钾; 过磷酸钙

The Proportioning Fertilization Experiment on *Betula alnoides*

Abstract: 【Objective】 In order to explore the best growth rate for the pure plantation of *Betula alnoides*, the fertilization experiment was carried out in Wanshiqing area of Fujian Hua'an Jinshan National Forest Farm. 【Result】 There were no significant differences in tree height, DBH and individual volume of Clone No.1, No.2 and No.3 among different treatments of nitrogen fertilizer experiment. However, there were significant or highly significant differences in tree height, DBH and individual volume of Clone No.4 of nitrogen fertilizer experiment, and treatment No.5 was the optimal choice. For the nitrogen fertilizer experiment, there was significant difference among different treatments in the variation of pH value, organic matter or available K. There was no significant difference among different treatments in the variation of total N, total P, total K, alkali-N, olsen P, available Mg or activated Al. In terms of the variation pH value and available Mg, only the treatment No.4 was significant difference from other treatments, and treatment No.4 was superior to treatment No.7, among which there was significant or highly significant difference between treatment No.4 and treatment No.7. There was no significant difference in tree height, DBH and individual volume among all treatments in the phosphate fertilizer experiment. Applying 500g per hole (tree) and 1000g per hole (tree) with phosphate fertilizer as the base fertilizer caused damage to *B. alnoides* plantlets at the early stage, and the leaves turned yellow, but gradually recovered in the later stage. For phosphate fertilizer experiment, the variation of pH value, organic matter, total N, total P, total K, alkali-N, olsen P, available K, available Mg and activated Al were significantly different among different treatments, and the variation of pH value of treatment No.1 was superior to treatment No.7. There was significant difference in organic matter, and the variation of treatment No.7 was superior to that of treatment No.5. There was significant difference in available K, and the variation of treatment No.7 was superior to that of treatment No.6. There was no highly significant difference among all treatments in all aspects. In the nitrogen fertilizer experiment, treatment No.5 was the best

基金项目: “十三五”国家重点研发计划子项目: 闽南西南桦高效培育技术研究(项目编号: 2016YFD0600604-03)。

第一作者简介: 陈碧华(1967-), 男, 教授级高级工程师, 从事森林培育和林木良种选育研究。

通讯作者: 1. 陈碧华 chenbihua.happy@163.com; 2. 曾杰 zengjie69@163.com。

of all, i.e. 500g calcium superphosphate was applied to each hole as the base fertilizer, and 50g urea and 30g potassium chloride were applied for the first time in the first year. For the second time, 100g urea and 60g potassium chloride were used. In the second year, 100g urea and 60g potassium chloride were used for the first time, and 150g urea and 90g potassium chloride were used for the second time. In the third year, 0g urea and 90g potassium chloride were used for the first time, and no fertilizer was used for the second time. In the nitrogen fertilizer experiment, treatment No.5 was the best of all, i.e. 250g of calcium superphosphate as the base fertilizer, and 50g urea and 30g potassium chloride was applied for the first time in the first year; For the second time, 100g urea and 60g potassium chloride were used. In the second year, 100g urea and 60g potassium chloride were used for the first time, and 150g urea and 90g potassium chloride were used as top dressing for the second time. In the third year, 150g urea and 90g potassium chloride were used for the first time, and no fertilizer was used for the second time. 【Conclusion】 The experimental results showed that 250g Calcium Superphosphate was optimal to use as basal fertilizer for *B. alnoides* reforestation, and urea and Potassium Chloride were used as topdressing, namely 50g urea and 30g Potassium Chloride were used as topdressing for first time of the first year, for the second time, 100g urea and 60g Potassium Chloride were applied. In the second year, 100g urea and 60g Potassium Chloride were used as top dressing for the first time, and 150g urea and 90g Potassium Chloride were for the second time. In the third year, 0g urea and 90g Potassium Chloride were used as topdressing for the first time, and 0g urea and 0g Potassium Chloride were for the second time. 38 months after reforestation, the individual average height, DBH and volume reached 6.76 m, 10.02 cm and 25.63 dm³, respectively. **Key words:** *Betula alnoides*; clone; fertilization; urea; Potassium Chloride; Calcium Superphosphate

西南桦(*Betula alnoides* Buch.-Ham.)是桦木科桦木属分布最南的一个种。是我国云南、广西地区的乡土树种, 树体高大, 干形通直, 生长迅速, 材质细致优良, 花纹美丽, 加工性能良好, 刨切面光滑, 是目前生产地板条、家具、建筑等的重要材料, 经济价值极高^[1-2]。

刘士玲等于广西开展施氮、磷肥对西南桦无性系生长和叶片养分含量的影响研究, 结果表明施肥显著促进了西南桦无性系幼苗的生长并提高了叶片养分含量, 但无性系之间差异不显著; 施肥显著促进了西南桦幼苗的生物量和根系生长发育, 且存在无性系差异^[3-4]。王春胜等于桂西地区开展西南桦中龄林生长对间伐和施肥试验的响应, 结果表明施肥处理的西南桦胸径、冠幅和单株材积增量高于未施肥处理, 但是两者间仅冠幅差异显著^[5]。杨光习等于滇西地区开展西南桦幼林施肥试验, 结果显示通过施肥西南桦胸径、树高和冠幅生长量显著增大^[6]。

福建最早于2002年开始引进西南桦, 至本项目开展之前, 未曾开展西南桦幼林施肥试验。为加速西南桦在闽南地区的进一步发展, 本项目开展了西南桦幼林施肥试验, 探索西南桦人工林的科学施肥技术, 获得遗传性所允许的最高生长量, 从而为闽南地区科学、经济、合理地营造西南桦人工林提供技术支持。

1 试验区概况

试验地位于福建省华安金山国有林场万世清工区(图 1), 地处于东经 117°39'18.7", 北纬 24°43'47.3", 该区属典型的南亚热带气候。年平均气温约 18.0-19.0℃, 1 月平均气温约 16.6℃, 7 月平均气温约 25.4℃, 全年无霜期约为 320d, 年均降水量约为 1610.9mm。造林试验地为桉树及杂木采伐迹地, 海拔为 500-600m, 坡度 19°-25°, 整体坡向为西坡, 坡位为中下部, 土壤为花岗岩发育的山地红壤, 土层厚度 80-100cm, 腐殖质层厚度 5-10cm, 立地质量等级 II 级。



图 1 万世清工区西南桦施肥试验地

Fig. 1 Fertilization Location Map of Wanshiqing Area

2 材料与方

2.2 试验材料

西南桦试验林采用组培轻基质容器苗，苗高25-35cm，林地采用炼山、全面清理、穴状整地，穴规为50cm×40 cm×30 cm，2017年4月造林，株行距2.0米×2.0米。

2.3 试验方法

2.3.1 氮肥试验 氮肥试验施用尿素，设置 0g、50g、150g、250g、400g、550g、700g 用量 7 个处理，每穴施 500g 过磷酸钙作为基肥，氮施用方案见表 1。

表 1 氮肥追肥梯度试验方案
Tab. 1 Nitrogen Fertilizing Test Scheme of Gradient Topdressing

处理 Treatment	N 肥总量 Total nitrogen/g	当年追肥		第二年追肥		第三年追肥	
		First year fertilization/g		Second year fertilization/g		Third year fertilization/g	
		春季 Spring	秋季 Autumn	春季 Spring	秋季 Autumn	春季 Spring	秋季 Autumn
N1	0g	0g	0g	0g	0g	0g	0g
N2	50g	50g	0g	0g	0g	0g	0g
N3	150g	50g	100g	0g	0g	0g	0g
N4	250g	50g	100g	100g	0g	0g	0g
N5	400g	50g	100g	100g	150g	0g	0g
N6	550g	50g	100g	100g	150g	150g	0g
N7	700g	50g	100g	100g	150g	150g	150g

氮肥试验配套追施钾肥，设置 30g、60g、60g、90g、90g、0g 用量 6 个处理，施用方案见表 2。

表 2 氮肥试验追施钾肥方案
Tab. 2 Potassium Topdressing Scheme of Nitrogen Fertilizing Test

肥料种类 Fertilizer	总量 Total	当年追肥		第二年追肥		第三年追肥	
		First year fertilization/g		Second year fertilization/g		Third year fertilization/g	
		春季 Spring	秋季 Autumn	春季 Spring	秋季 Autumn	春季 Spring	秋季 Autumn

		Spring	Autumn	Spring	Autumn	Spring	Autumn
KCl	330g	30g	60g	60g	90g	90g	0

2.3.2 磷肥试验 磷肥试验采用过磷酸钙, 设置 0g, 50g, 100g, 150g, 250g, 500g, 1000g 施用量 7 个处理, 以基肥形式施入, 配套的氮、钾基肥和追肥方案见表 3。

表 3 磷肥试验追施氮钾追肥方案

Tab. 3 Nitrogen and Potassium Topdressing Scheme of Phosphorus Fertilizing Test

肥料种类 Fertilizer	总量 Total	当年追肥		第二年追肥		第三年追肥	
		First year fertilization/g		Second year fertilization/g		Third year fertilization/g	
		春季 Spring	秋季 Autumn	春季 Spring	秋季 Autumn	春季 Spring	秋季 Autumn
尿素	550g	50g	100g	100g	150g	150g	0g
KCl	330g	30g	60g	60g	90g	90g	0g

2.3.3 试验设计 试验采用随机区组设计, 4 个区组(重复), 每个区组 7 个小区, 每个小区 30 株西南桦幼树。

2.4 调查方法

2020 年 6 月对该片西南桦施肥试验林开展样地调查, 每试验小区土壤进行取样, 并开展每木调查, 每木调查内容包括树高(m)、胸径(cm)、病虫害和长势。

2.5 数据分析

采用 EXCEL、SPSS17.0 版软件对各个混交林树高、胸径、材积平均值进行 Duncan 方差分析, Origin 8.5 进行作图。

西南桦立木材积计算: $V=\pi(d_{1.3}/2)^2hf_{1.3}$ 。

其中: $d_{1.3}$ 为胸径, h 为树高, $f_{1.3}$ 为胸高形数, 西南桦的 $f_{1.3}$ 为 0.45^[7-8]。

3 结果与分析

3.1 不同氮肥处理对西南桦幼树生长的影响

氮肥试验各种处理对无性系 1、2、3 的树高、胸径、材积均无显著差异或极显著差异(表 4、图 2);

氮肥试验对无性系 4 的树高、胸径、材积有显著差异或极显著差异: ①在树高方面处理 5 与处理 6 有显著差异, 处理 5>处理 6, 其它处理之间没有显著差异, 所有处理之间没有极显著差异。②在胸径方面处理 1、处理 5、处理 6 与处理 7 有显著差异, 处理 5>处理 6 和处理 1, 处理 5 和处理 7>处理 6, 其它处理 1、2、3、4、7 之间没有显著差异; 处理 5、处理 6 达到极显著差异, 其余处理之间没有极显著差异。③在材积方面, 处理 5、处理 6 之间具有显著差异, 甚至达到极显著差异。所以选择处理 5 作为最佳氮肥施肥措施。

表 4 不同氮肥处理对西南桦幼树生长(增量)

Table 4 Different Nitrogen Treatments on Growth (Increment) of *Betula alnoides*

处理 Treat ment	无性系 1 Clone No.1			无性系 2 Clone No.2			无性系 3 Clone No.3			无性系 4 Clone No.4		
	树高 Tree height /m	胸径 DBH/c m	单株材 积 Individ ual volume/ dm ³	树高 Tree height /m	胸径 DBH/c m	材积 Individu al volume/ dm ³	树高 Tree height /m	胸径 DBH/ cm	材积 Individ ual volume/ dm ³	树高 Tree height /m	胸径 DBH/cm	材积 Individua l volume/d m ³
1	5.40±0 .208Aa	6.80±0 .139Aa	8.84±0. 495Aa	6.71±0 .681Aa	8.02±1 .286Aa	16.97±6. 153Aa	6.41±0 .162Aa	9.13± 0.769 Aa	19.2±3. 364Aa	6.11±0. 601Aab	7.22±0.8 74ABbc	11.86±3. 143ABb

2	5.99±0.496Aa	8.02±0.996Aa	14.55±4.217Aa	5.67±0.326Aa	6.69±0.627Aa	9.30±2.134Aa	7.08±0.419Aa	9.43±0.583Aa	22.75±4.094Aa	6.12±0.337Aab	7.91±0.626ABabc	13.89±2.957ABab
3	5.72±0.298Aa	6.62±0.653Aa	9.18±2.100Aa	6.64±1.440Aa	8.81±1.447Aa	21.99±1.1998Aa	5.48±0.197Aa	7.42±0.753Aa	10.97±2.567Aa	6.49±0.121Aab	7.81±0.237ABabc	14.05±1.112ABab
4	6.36±0.608Aa	7.71±1.157Aa	14.75±5.712Aa	6.00±0.351Aa	8.11±0.498Aa	13.91±1.321Aa	6.07±0.240Aa	8.68±0.325Aa	16.16±1.092Aa	6.60±0.393Aab	8.55±0.341ABabc	17.27±2.261ABab
5	6.33±0.168Aa	8.46±0.605Aa	16.18±2.344Aa	5.48±0.606Aa	7.24±1.456Aa	11.92±5.764Aa	6.76±0.774Aa	10.02±1.042Aa	25.63±8.198Aa	6.96±0.361Aa	9.73±0.664Aa	23.82±4.441Aa
6	6.14±0.307Aa	8.32±0.142Aa	15.08±1.186Aa	5.98±0.332Aa	8.88±0.332Aa	16.83±2.172Aa	5.65±0.822Aa	7.88±1.421Aa	14.47±6.451Aa	5.28±0.799Ab	6.16±1.219Bc	8.53±4.540Bb
7	5.57±0.504Aa	8.85±0.879Aa	16.13±3.929Aa	5.26±0.575Aa	7.12±1.868Aa	11.9±6.992Aa	5.66±0.260Aa	8.74±0.332Aa	15.24±0.693Aa	5.69±0.074Aab	9.53±0.728ABab	18.5±2.923ABab
平均数	5.93	7.83	13.53	5.96	7.84	14.69	6.16	8.76	17.77	6.18	8.13	15.42

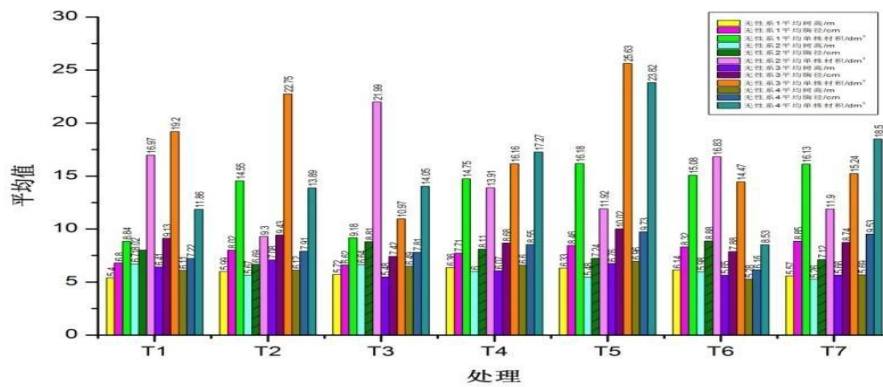


图 2 不同氮肥处理的西南桦幼树生长(增量)

Fig. 2 Different Nitrogen Treatments on Growth (Increment) of *Betula alnoides*

3.2 不同磷肥处理对西南桦幼树生长的影响

在磷肥试验方面，4 个无性系的树高、胸径、材积的各种处理之间均没有显著差异或极显著差异(表 5、图 3)。

在磷肥作为基肥，施用 500g/穴和 1000g/穴，早期对西南桦苗造成伤害，叶片变黄，后期逐渐恢复。所以选择 250g 作为最佳磷肥施肥措施。

表 5 不同磷肥处理对西南桦幼树生长(增量)

Tab. 5 Different Phosphorus Treatments on Growth (Increment) of *Betula alnoides*

处理 Treat ment	无性系 1 Clone No.1			无性系 2 Clone No.2			无性系 3 Clone No.3			无性系 4 Clone No.4		
	树高 Tree height/ m	胸径 DBH/c m	材积 Individ ual volume/ dm ³	树高 Tree height/ m	胸径 DBH/c m	材积 Individ ual volume/ dm ³	树高 Tree height/ m	胸径 DBH/cm	材积 Individu al volume/ dm ³	树高 Tree height/ m	胸径 DBH/c m	材积 Individ ual volume/ dm ³
1	5.65±0.556Aa	6.81±1.055Aa	10.68±3.871Aa	5.67±0.213Aa	6.60±0.409Aa	8.92±1.395Aa	5.45±0.254Aa	6.38±0.69Bb	8.22±1.893Ab	5.67±0.343Aa	6.65±0.491Aa	9.24±2.047Aa
	5.67±0.234Aa	6.75±0.222Aa	9.21±0.963Aa	5.87±0.240Aa	6.55±0.150Aa	8.92±0.555Aa	6.25±0.265Aa	8.42±0.50ABab	16.06±2.603Aab	6.21±0.447Aa	7.52±0.588Aa	13.01±3.083Aa
3	5.93±0.691Aa	6.43±0.864Aa	9.89±3.194Aa	5.90±0.625Aa	6.91±0.695Aa	10.8±2.980Aa	6.51±0.607Aa	8.49±0.710ABab	17.63±4.077Aab	6.67±0.372Aa	7.97±0.292Aa	15.19±1.948Aa

4	5.91±0.237Aa	7.14±0.415Aa	10.87±1.611Aa	6.05±0.329Aa	6.98±0.604Aa	10.94±2.510Aa	5.82±0.471Aa	7.89±0.741ABab	13.70±3.624Aab	6.22±0.473Aa	6.99±0.468Aa	11.14±1.947Aa
5	5.61±0.437Aa	6.50±0.422Aa	8.73±1.758Aa	6.21±0.500Aa	7.41±0.593Aa	12.70±2.720Aa	6.36±0.533Aa	8.99±0.946Aba	19.64±4.629Aab	6.25±0.754Aa	7.21±0.748Aa	12.65±3.620Aa
6	5.89±0.182Aa	7.05±0.216Aa	10.42±0.971Aa	6.07±0.230Aa	7.77±0.548Aa	13.34±2.196Aa	6.65±0.643Aa	9.72±0.369Aa	22.52±3.250Aa	6.58±0.229Aa	8.17±0.279Aa	15.58±1.297Aa
7	5.87±0.184Aa	7.09±0.325Aa	10.58±1.238Aa	5.91±0.415Aa	7.77±1.001Aa	13.93±4.399Aa	6.73±0.377Aa	9.38±0.560Aa	15.54±5.363Aab	6.16±0.437Aa	8.81±1.260Aa	18.91±5.987Aa
平均数	5.79	6.82	10.05	5.95	7.14	11.36	6.25	8.47	16.19	6.25	7.61	13.67

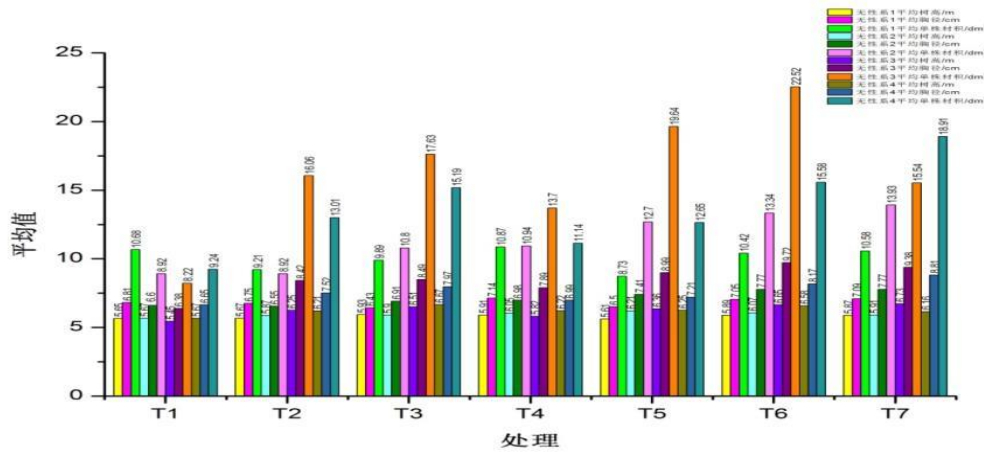


图 3 不同磷肥处理的西南桦幼树生长(增量)

Fig.3 Different Phosphorus Treatments on Growth (Increment) of *Betula alnoides*

3.3 氮肥试验对土壤各个指标的影响

不同氮肥处理，在有机质、全 N、全 P、全 K、碱解 N、有效 P、速效 K、活性 Al 的变化方面，各处理之间均没有显著差异或极显著差异。在 pH 值、有效 Mg 方面，仅第 4 处理与其它处理有显著差异，处理 4 优于第 7 处理，其中第 4 处理与第 7 处理有显著差异或极显著差异(表 6)。处理 4 对各个指标影响较大。

备注: OM, organic matter; TN, total N; TP, total P; TK, total K; AN, alkali-N; OP, olsen P; AK, available K; AMg, available Mg; AAl, activated Al

3.4 磷肥试验对土壤各个指标的影响

不同磷肥处理, 在 pH 值、有机质、全 N、全 P、全 K、碱解 N、有效 P、速效 K、有效 Mg、活性 Al 的变化方面, 各处理之间, pH 值有显著差异, 处理 1>处理 7。有机质有显著差异, 处理 7>处理 5; 速效 K 有显著差异, 处理 7>处理 6。各处理之间没有极显著差异(表 7)。处理 5 的 pH 变化比较小, 说明对土壤酸碱度影响小。综合各个方面影响, 处理 5 除了有有机质含量稍差, 其它方面表现均佳。

表 7 磷肥试验土壤各种含量(增量)之间差异

Tab. 7 Variation among Different Contents (Increments) in the Soil Tested with Phosphorus Fertilizer

表 6 氮肥试验土壤各种含量(增量)之间差异

Tab. 6 Variation among Different Contents (Increments) in the Soil Tested with Nitrogen Fertilizer

处理 Treatm ent	pH 值 pH	有机质 OM /g·kg ⁻¹	全氮 TN/g·kg ⁻¹	全磷 TP/g·kg ⁻¹	全钾 TK/g·kg ⁻¹	碱解氮 AN/mg·kg ⁻¹	有效磷 OP/mg·kg ⁻¹	速效钾 AK/mg·kg ⁻¹	有效镁 AMg/mg·k g ⁻¹	活性铝 AAl/%
1	0.40±0.066 Aab	28.25±2.87 0Aa	0.25±0.08 6Aa	0.12±0.02 8Aa	0.55±2.61 9Aa	90.29±21.9 99Aa	4.13±2.08 2Aa	7.66±28.40 8Aa	4.59±1.871 ABb	- 0.24±0.96 5Aa
2	0.45±0.033 Aab	26.04±4.62 7Aa	0.44±0.19 5Aa	0.15±0.03 1Aa	- 0.88±0.65 7Aa	71.64±11.4 98Aa	2.49±1.65 4Aa	37.57±29.3 37Aa	3.97±0.989 ABb	- 0.37±1.04 5Aa
3	0.31±0.019 Ab	31.46±4.16 2Aa	0.27±0.12 0Aa	0.11±0.02 9Aa	- 1.37±0.72 2Aa	74.62±9.07 4Aa	3.57±1.91 8Aa	8.90±25.10 1Aa	2.20±1.420 ABb	- 0.29±0.70 0Aa
4	0.50±0.061 Aa	32.84±2.40 6Aa	0.27±0.16 4Aa	0.16±0.03 9Aa	- 0.69±0.26 6Aa	59.51±7.84 1Aa	6.90±4.12 0Aa	16.31±30.2 26Aa	13.92±6.66 9Aa	- 0.40±0.57 2Aa
5	0.32±0.051 Ab	28.02±3.47 3Aa	0.30±0.08 5Aa	0.13±0.02 2Aa	- 0.18±0.40 2Aa	72.01±16.2 12Aa	3.53±1.51 8Aa	22.25±33.3 37Aa	3.48±1.314 ABb	- 0.18±0.98 4Aa
6	0.35±0.070 Aab	29.69±3.34 9Aa	0.22±0.09 2Aa	0.08±0.02 0Aa	0.06±0.37 8Aa	70.89±10.3 89Aa	2.43±0.91 6Aa	13.60±25.2 99Aa	1.73±0.842 ABb	- 0.26±0.87 8Aa
7	0.34±0.034 Ab	28.57±5.24 7Aa	0.24±0.10 2Aa	0.11±0.03 0Aa	- 1.09±0.42 3Aa	63.11±7.72 3Aa	2.53±0.82 1Aa	51.03±19.7 81Aa	0.70±2.348 Bb	- 0.22±0.29 2Aa
平均数	0.38	29.27	0.28	0.12	-0.51	71.72	3.65	22.47	4.37	-0.11

备注: OM, organic matter; TN, total N; TP, total P; TK, total K; AN, alkali-N; OP, olsen P; AK, available K; AMg, available Mg; AAl, activated Al

4 结论和讨论

处理 Treatm ent	pH 值 pH	有机质 OM /g·kg ⁻¹	全氮 TN/g·kg ⁻¹	全磷 TP/g·kg ⁻¹	全钾 TK/g·kg ⁻¹	碱解氮 AN/mg·kg ⁻¹	有效磷 OP/mg·kg ⁻¹	速效钾 AK/mg·kg ⁻¹	有效镁 AMg/mg· kg ⁻¹	活性铝 AAl/%
1	0.46±0.117 Aa	31.78±2.83 1Aab	0.20±0.09 1Aa	0.09±0.04 0Aa	- 0.70±1.62 5Aa	56.80±10.2 31Aa	5.21±1.467 Aa	45.97±17.60 1Aab	1.78±6.70 3Aa	- 0.10±0.62 9Aa
2	0.31±0.03 2Aab	33.15±1.78 2Aab	0.23±0.11 9Aa	0.13±0.04 5Aa	- 2.66±2.07 8Aa	63.99±8.63 6Aa	3.50±0.683 Aa	31.64±23.26 2Aab	0.03±3.15 6Aa	0.67±0.68 9Aa
3	0.26±0.06 4Aab	28.24±1.59 2Aab	0.15±0.06 8Aa	0.09±0.06 5Aa	1.42±0.87 9Aa	81.52±8.44 0Aa	3.22±0.548 Aa	33.49±20.22 4Aab	- 4.01±3.68 1Aa	0.78±0.65 7Aa
4	0.30±0.04 0Aab	29.73±3.63 2Aab	0.15±0.09 8Aa	0.17±0.11 1Aa	- 0.43±1.77 1Aa	54.66±9.01 9Aa	33.25±30.5 77Aa	38.43±7.558 Aab	0.68±3.62 9Aa	1.89±0.75 4Aa
5	0.34±0.06 7Aab	26.22±0.97 8Ab	0.29±0.17 6Aa	0.14±0.03 3Aa	1.33±0.41 5Aa	57.18±11.1 50Aa	12.04±7.41 6Aa	49.19±22.52 7Aab	- 0.47±3.54 1Aa	0.48±1.00 7Aa
6	0.31±0.05 2Aab	34.68±3.63 9Aab	0.21±0.02 1Aa	0.01±0.03 3Aa	0.27±0.51 0Aa	52.79±11.4 19Aa	7.07±1.651 Aa	15.57±14.45 7Ab	0.81±5.22 3Aa	0.85±1.20 9Aa
7	0.20±0.04 4Ab	35.41±2.71 9Aa	0.24±0.04 3Aa	0.08±0.04 3Aa	0.80±0.19 0Aa	60.81±8.18 9Aa	4.06±1.265 Aa	92.81±38.75 1Aa	1.57±2.83 5Aa	0.48±0.65 7Aa
平均 数	0.31	31.31	0.21	0.10	0.00	61.11	9.76	43.87	0.05	0.72

氮肥试验各种处理对无性系 1、2、3 的树高、胸径、材积均无显著差异或极显著差异；但氮肥试验对无性系 4 的树高、胸径、材积有显著差异或极显著差异：处理 5 为最优选择。

不同氮肥处理，在有机质、全 N、全 P、全 K、碱解 N、有效 P、速效 K、活性 Al 的变化方面，各处理之间均没有显著差异或极显著差异。在 pH 值、有效 Mg 方面，仅第 4 处理与其它处理有显著差异，处理 4 优于第 7 处理，其中第 4 处理与第 7 处理有显著差异或极显著差异。

磷肥试验各种处理对 4 个无性系的树高、胸径、材积的各种处理之间均没有显著差异或极显著差异。在磷肥作为基肥，施用 500g/穴和 1000g/穴，早期对西南桦苗造成伤害，叶片变黄，后期逐渐恢复。

不同磷肥处理，在 pH 值、有机质、全 N、全 P、全 K、碱解 N、有效 P、速效 K、有效 Mg、活性 Al 的变化方面，各处理之间，pH 值有显著差异，处理 1>处理 7；有机质有显著差异，处理 7>处理 5；速效 K 有显著差异，处理 7>处理 6。各处理之间没有极显著差异。

氮肥试验以处理 5 为佳，每穴施 500g 过磷酸钙作为基肥，即第一年第一次以 50g 尿素、30g 氯化钾为追肥；第二次以 100g 尿素、60g 氯化钾作为追肥。第二年第一次以 100g 尿素、60g 氯化钾为追肥、第二次以 150g 尿素、90g 氯化钾作为追肥。第三年第一次以 0g 尿素、90g 氯化钾为追肥、第二次以 0g 尿素、0g 氯化钾作为追肥。

磷肥以处理 5 为佳：基肥过磷酸钙 250g，追肥即第一年第一次以 50g 尿素、30g 氯化钾为追肥；第二次以 100g 尿素、60g 氯化钾作为追肥。第二年第一次以 100g 尿素、60g 氯化钾为追肥、第二次以 150g 尿素、90g 氯化钾作为追肥。第三年第一次以 150g 尿素、90g 氯化钾为追肥、第二次以 0g 尿素、0g 氯化钾作为追肥。

综上所述，西南桦造林基肥过磷酸钙 250g 为佳，以尿素和氯化钾作为追肥，即第一年第一次以 50g 尿素、30g 氯化钾为追肥；第二次以 100g 尿素、60g 氯化钾作为追肥。第二年第一次以 100g 尿素、60g 氯化钾为追肥、第二次以 150g 尿素、90g 氯化钾作为追肥。第三年第一次以 0g 尿素、90g 氯化钾为追肥、第二次以 0g 尿素、0g 氯化钾作为追肥。

致谢：本研究得到国家林业局南方山地用材林培育重点实验室和福建省森林培育与林产品加工利用重点实验室支持！

参 考 文 献

- [1] 庞正轰. 我国西南桦研究进展[J]. 广西科学院学报, 2011, 27(3):243-250.
- [2] 云南省林业科学研究所. 云南主要树种造林技术[M]. 昆明:云南人民出版社, 1985:123-125.
- [3] 刘士玲,陈琳,庞圣江,张培,杨保国,韦菊玲,李朝英,贾宏炎. 施 N、P 肥对西南桦无性系幼苗生长及叶片 N、P 含量的影响[J]. 华南农业大学学报, 2020,41(02):111-116.
- [4] 刘士玲,陈琳,杨保国,贾宏炎,庞圣江,张培,王晖. 氮磷肥对西南桦无性系生物量分配和根系形态的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2019,43(05):23-29.
- [5] 王春胜,唐诚,赵志刚,郭俊杰,王欢,吴龙敦,曾杰. 桂西地区西南桦中龄林生长对间伐和施肥的响应[J]. 中南林业科技大学学报,2018,38(05):28-32.
- [6] 杨光习,刀保辉,杨从发,段生彪,黄国回,张瑞芳. 滇西地区西南桦幼林施肥试验初报[J]. 林业科技通讯,2017,(06):17-19.
- [7] 王春胜, 赵志刚, 曾冀,等. 广西凭祥西南桦中幼林林木生长过程与造林密度的关系[J]. 林业科学研究, 2013, 26(2):257-262.
- [8] 王欢, 曾建雄, 骆必刚, 郭俊杰, 王春胜, 赵志刚, 曾杰. 粤东地区西南桦优良无性系多性状综合选择[J]. 中南林业科技大学学报,2017,37(12):72-75,84.