



郭文冰, 赵奋成, 戎洁庆, 等. 粤西 8 年生加勒比松施肥效果研究[J]. 华南农业大学学报, 2016, 37(4): 18-24.

粤西 8 年生加勒比松施肥效果研究

郭文冰¹, 赵奋成¹, 戎洁庆¹, 王保华², 覃玉英², 李义良², 吴惠姗²

(1 广东省森林病虫害生物防治重点实验室/广东省林业科学研究院, 广东 广州 510520; 2 国营阳江林场, 广东 阳江 529500)

摘要:【目的】研究阳江 8 年生古巴加勒比松 *Pinus caribaea* var. *caribaea* 人工林对氮磷钾不同配比及与微量元素混施的肥效反应。【方法】设定 17 个氮磷钾不同配比及与微量元素混施的追肥处理, 15 个月后监测古巴加勒比松的生长量和养分。【结果】协方差分析结果表明, N(21.5 g·株⁻¹)、P₂O₅(30 g·株⁻¹)的配比处理效果最好。单株施用 50 g 尿素 + 250 g 钙镁磷肥 + 25 g 氯化钾处理 15 个月后, 单株材积增量比空白对照平均可提高 23.6%。加磷(N₂P₁K₂、N₂P₂K₂)比无磷处理(N₂P₀K₂)的生长量显著增大。另外, 在氮磷钾相同情况下, 添加硼对材积也有显著促进作用。【结论】磷与硼是影响郁闭后加勒比松生长的重要元素。氮磷配比对肥效反应有重要调控作用。

关键词: 加勒比松; 肥效反应; 生长性状; 协方差分析

中图分类号: S791.244

文献标志码: A

文章编号: 1001-411X(2016)04-0018-07

Effects of fertilization on growth of eight-year-old Caribbean pine in West Guangdong

GUO Wenbing¹, ZHAO Fencheng¹, RONG Jieqing¹, WANG Baohua², QIN Yuying², LI Yiliang², WU Huishan²

(1 Guangdong Provincial Key Laboratory of Bio-control for the Forest Disease and Pest/Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou 510520, China; 2 Yangjiang State-owned Forest Farm, Yangjiang 529500, China)

Abstract:【Objective】In order to study the fertilizer response in an eight-year-old *Pinus caribaea* var. *caribaea* plantation in Yangjiang to the application of different proportions of nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) fertilizers mixed with microelements. 【Method】There were 17 top application treatments of different proportions of N, P and K fertilizers mixed with microelements. The growth and foliar nutrient concentrations of *P. caribaea* var. *caribaea* were determined after 15 months. 【Result】The covariance analysis showed that the optimum proportion of fertilizers was N (21.5 g·plant⁻¹) and P₂O₅ (30 g·plant⁻¹). The individual stem volume of plants fertilized with 50 g urea + 250 g calcium magnesium phosphate fertilizer + 25 g KCl for 15 months was increased by 23.6% on average compared to the blank control. The treatments with P (N₂P₁K₂, N₂P₂K₂) had significantly more growth compared to the P deficiency treatment (N₂P₀K₂). In addition, boron (B) application significantly increased the stem volume under the same N, P and K treatment. 【Conclusion】P and B are both important for *P. caribaea* var. *caribaea* growth after canopy closure. The proportion of N and P plays an essential role in regulating the fertilizer response of *P. caribaea* var. *caribaea*.

Key words: *Pinus caribaea* var. *caribaea*; fertilizer response; growth performance; covariance analysis

收稿日期: 2015-11-13 优先出版时间: 2016-06-01

优先出版网址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/44.1110.s.20160601.1630.052.html>

作者简介: 郭文冰(1981—), 女, 副研究员, 博士, E-mail: wbguo@sinogaf.cn

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项(20110414)

<http://xuebao.scau.edu.cn>

加勒比松 *Pinus caribaea* 是热带亚热带地区重要的商品林树种,其人工林主要应用于用材、长纤维造纸等方面。同时,加勒比松也是杂交育种的重要材料,可作为亲本与湿地松 *P. elliottii*、卵果松 *P. oocarpa*、台库努曼松 *P. tecunumanii* 等杂交产生速生丰产的杂种松后代^[1]。加勒比松原产中南美地区,20世纪60年代被划分为3个变种,分别为古巴加勒比松 *P. caribaea* var. *caribaea*、巴哈马加勒比松 *P. caribaea* var. *bahamensis* 和洪都拉斯加勒比松 *P. caribaea* var. *hondurensis*^[2]。古巴加勒比松最早引入我国,在我国粤西地区具有生长快、保存率高、抗风能力强、病虫害少等优点,有较高的推广价值^[3]。然而,对加勒比松人工林集约化栽培技术的研究相对匮乏。林书蓉等^[4]研究了基肥与追肥对加勒比松幼林生长的影响。该结果表明,前期施氮对加勒比松生长有利,而磷、钾的肥效较持久。施基肥后第2年肥效最大,基肥对树高的效应大于对胸径的效应。1年生时追肥,以氮、磷、钾配施效果最佳,单施氮、磷有负效应,而氮、磷、钾等量配比则对生长有特殊的低效应,在2年生时肥效最显著,6年后肥效下降^[5]。松树郁闭前后,外界环境可供的养分大幅度下降,植株进入养分需求的旺盛时期^[6-7],前人结果表明,大部分美国南方松林分在8~20年生时对氮、磷营养有明显反应^[8-9]。因此,本文以8年生加勒比松人工林为材料,研究氮、磷、钾不同配比及与微量元素混合追肥对其生长的影响,从而分析加勒比松的需肥规律。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于广东省阳江市国营阳江林场宝山分场,东经112.13°,北纬21.89°。年平均气温22.0~22.6℃,极端最低温度3~6℃,1年内 ≥ 10 ℃的积温为7880~8201℃,年平均降水量2040~2888mm,日照时数1681~1949h。地形平坦,坡面为东北坡。土壤呈酸性,为花岗岩发育的赤红壤,质地以中壤土、轻壤土为主,土层厚度约1m。0~30cm表层土壤本底值为:pH 5.0,有机质12.2g·kg⁻¹,全氮0.4g·kg⁻¹,碱解氮48.6mg·kg⁻¹,速效磷1.5mg·kg⁻¹,速效钾14.8mg·kg⁻¹,交换性钙34.7mg·kg⁻¹,有效硼0.12mg·kg⁻¹。

造林营建时间为2005年春天,以培育的古巴加勒比松种子苗为材料,栽培密度为3m×3m,每穴施用250g过磷酸钙(含P₂O₅质量分数为12%)为基肥,后期不再追肥。

1.2 试验设计

施肥试验于2013年10月开展,处理前参试材

料株高为(7.06±1.17)m,胸径为(11.00±2.72cm),材积为(0.038±0.023)m³。采用随机区组设计,块状小区,每个小区四周设缓冲行,小区内试验株为10~25株,每个处理4次重复。试验共设17个施肥处理与1个空白对照。T1~T14为氮、磷、钾不同配比,T15~T18为N₂P₂K₂添加不同微量元素,氮、磷、钾施肥量如表1所示,其中2水平为前期单因素盆栽试验获得的较佳水平(待发表),1水平为2水平的0.5倍,3水平为2水平的1.5倍。微量元素施用量为:T15添加8g硼砂,T16添加15g硫酸铜,T17添加24g硫酸锌,T18添加8g硼砂+15g硫酸铜+24g硫酸锌+0.8g钼酸铵。其中,大量元素为肥料级,微量元素采用分析纯试剂。尿素中w(N)为46%,钙镁磷肥中w(P₂O₅)为12%,氯化钾中w(K₂O)为60%,硼砂中w(B)为11%,硫酸铜中w(Cu)为25%,硫酸锌中w(Zn)为22.7%,钼酸铵中w(Mo)为7.76%。进行追肥处理时,每株沿滴水线挖1个弧形施肥沟,均匀将化肥按设计量施入后覆土。

1.3 数据获取

2013年10月、2015年1月,分别对施肥前后加勒比松人工林的单株进行调查,调查内容为树高、1.3m处胸径。其中树高采用铝制测量杠进行直接测量^[10],胸径用胸径尺测量。单株材积(V/m³)用公式 $V=f \times \pi/4 \times DBH^2 \times h$ 计算,其中 π 为圆周率, $f=0.5$ 为形数,DBH为胸径(cm), h 为树高(cm)^[11]。土壤与针叶样品用常规化学方法测量。土壤样品采用混合样品,在0~30cm范围内,按比例采集混合1kg以上样品后风干,每个试验点采集3个土样分开测定。土壤pH采用电位法[m(水):V(土)=2.5:1]测定;土壤有机质含量采用高温外热重铬酸钾氧化容量法测定;土壤全氮含量采用硫酸加速剂消煮定氮仪蒸馏法测定;土壤碱解氮含量采用氢氧化钠分解扩散法测定;土壤速效磷含量采用碳酸氢钠浸提钼锑抗比色法测定;土壤速效钾含量采用乙酸铵交换火焰光度法测定;土壤交换性钙含量采用乙酸铵交换原子吸收光谱法测定;土壤有效硼含量采用热水浸提姜黄素比色法测定。植物样品每个重复抽取2个单株,每个处理8个单株,采集树冠上部1/3处的树枝,以枝条上中部针叶为样品。样品用100℃杀青30min,75℃烘干至恒质量,经硫酸双氧水消煮后,分别采用蒸馏法、钼锑抗比色法、火焰光度法测定植物全氮、全磷、全钾含量。干灰化处理后,采用原子吸收分光光谱法测定全钙含量,采用姜黄素比色法测定全硼含量。

利用统计软件SAS的GLM过程作统计分析,比较不同处理下加勒比松人工林株高、胸径及单株材

表1 不同追肥处理方式下单株氮磷钾施用量

Tab. 1 The amounts of NPK fertilizers applied to individual plant under different top application treatments

组别	处理方式	肥料施用量/(g·株 ⁻¹)			有效成分施用量/(g·株 ⁻¹)		
		尿素	钙镁磷肥	氯化钾	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
T1	N ₀ P ₀ K ₀	0	0	0	0.0	0	0
T2	N ₂ P ₂ K ₂	100	250	50	43.0	30	30
T3	N ₀ P ₂ K ₂	0	250	50	0.0	30	30
T4	N ₁ P ₂ K ₂	50	250	50	21.5	30	30
T5	N ₃ P ₂ K ₂	150	250	50	64.5	30	30
T6	N ₂ P ₀ K ₂	100	0	50	43.0	0	30
T7	N ₂ P ₁ K ₂	100	125	50	43.0	15	30
T8	N ₂ P ₃ K ₂	100	375	50	43.0	45	30
T9	N ₂ P ₂ K ₀	100	250	0	43.0	30	0
T10	N ₂ P ₂ K ₁	100	250	25	43.0	30	15
T11	N ₂ P ₂ K ₃	100	250	75	43.0	30	45
T12	N ₂ P ₁ K ₁	100	125	25	43.0	15	15
T13	N ₁ P ₂ K ₁	50	250	25	21.5	30	15
T14	N ₁ P ₁ K ₂	50	125	50	21.5	15	30
T15	N ₂ P ₂ K ₂ B	100	250	50	43.0	30	30
T16	N ₂ P ₂ K ₂ Cu	100	250	50	43.0	30	30
T17	N ₂ P ₂ K ₂ Zn	100	250	50	43.0	30	30
T18	N ₂ P ₂ K ₂ BCuZnMo	100	250	50	43.0	30	30

积增量时,以施肥前本底生长量为协变量,进行协方差分析(ANCOVA)。

2 结果与分析

2.1 施肥处理对生长的影响

2.1.1 施肥的肥效反应 对阳江8年生古巴加勒比松人工林施肥15个月后,协方差分析结果如表2所示,单株的本底株高、胸径、材积分别对其株高增长、胸径增长、材积增长有显著影响,应作为协变量进行协方差分析。施肥处理对3个变量均有极显著影响($P < 0.0001$)。将不同处理的最小二乘均数与空白对照(N₀P₀K₀)进行比较(表3),结果表明,合理的施肥配比可显著促进株高、胸径和材积的增长。N₁P₂K₂与N₂P₁K₁可显著性促进株高增长,其中N₁P₂K₂比对照大50.5%。N₁P₂K₁对株高增长也有

一定的促进作用,但未达到显著水平($P = 0.0766$)。N₁P₂K₁对胸径增长则有显著促进作用,增长量比对照大21.7%。对材积增长肥效最明显的处理为N₁P₂K₁与N₁P₂K₂,增长量分别比对照大23.6%与20.9%。可见,总体上, $m(N):m(P_2O_5) = 21.5:30$ 的有效成分配比可促进8年生加勒比松生长。不科学的施肥配比则表现出抑制效果,其中,N₂P₀K₂的缺磷处理严重抑制了株高与材积的增长,说明追肥时单施氮钾肥是不科学的。有效成分配比 $m(N):m(P_2O_5) = 43:30$ 的8个处理(包括 $m(N):m(P_2O_5) = 21.5:15$)对加勒比松生长均无明显促进效果,并且当 $m(N):m(P_2O_5):m(K_2O) = 43:30:30$ 时,施肥处理表现出特殊的抑制效果,其胸径与材积增长均显著地减小,可能与元素间的拮抗作用有关,施肥时应避开该元素配比。

表2 施肥对加勒比松生长变化影响的协方差分析¹⁾Tab. 2 Analysis of covariance of effect of fertilization on *Pinus caribaea* var. *caribaea* growth

变异来源	自由度	株高增长		胸径增长		材积增长	
		均方	F	均方	F	均方	F
本底生长	1	54 388.823 90	32.81*	64.696 66	308.17*	0.052 45	1 632.40*
区组	3	105 229.774 20	63.47*	0.516 81	2.46	0.000 32	9.95*
处理	17	3 875.912 70	2.34*	0.628 66	2.99*	0.000 11	3.48*
误差	799	1 786.236 00		0.209 94		0.000 03	

1)以施肥前的本底生长为协变量进行协方差分析,其中,株高增长以施肥前株高为协变量,胸径增长以施肥前胸径为协变量,材积增长以施肥前单株材积为协变量。*表示该变异来源达到显著水平($P < 0.05$)。

表3 加勒比松生长在不同施肥处理下的表现¹⁾

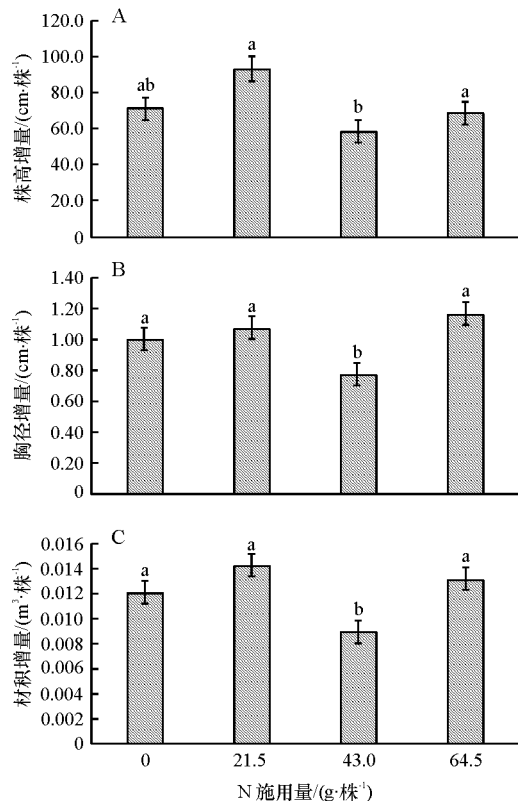
Tab.3 *Pinus caribaea* var. *caribaea* growth under different fertilization treatments

组别	处理 方式	株高增量/ (cm·株 ⁻¹)	胸径增量/ (cm·株 ⁻¹)	材积增量/ (m ³ ·株 ⁻¹)
T1	N ₀ P ₀ K ₀	62.32cd	1.025cde	0.012cde
T2	N ₂ P ₂ K ₂	58.22d	0.778f	0.009fg
T3	N ₀ P ₂ K ₂	71.35bcd	1.006cde	0.012abcde
T4	N ₁ P ₂ K ₂	93.81a	1.082abcde	0.014ab
T5	N ₃ P ₂ K ₂	67.96bcd	1.173abc	0.013abcd
T6	N ₂ P ₀ K ₂	40.15e	0.854ef	0.009g
T7	N ₂ P ₁ K ₂	69.81bcd	1.054abcde	0.012abcde
T8	N ₂ P ₃ K ₂	70.65bcd	1.139abcd	0.013abc
T9	N ₂ P ₂ K ₀	60.10d	1.066abcde	0.012cde
T10	N ₂ P ₂ K ₁	61.87cd	1.019cde	0.012cde
T11	N ₂ P ₂ K ₃	71.71bcd	1.137abcd	0.013abcd
T12	N ₂ P ₁ K ₁	80.62ab	1.012cde	0.013abc
T13	N ₁ P ₂ K ₁	78.74abc	1.248a	0.015a
T14	N ₁ P ₁ K ₂	67.89bcd	0.838f	0.011def
T15	N ₂ P ₂ K ₂ B	66.07bcd	0.963def	0.012bcde
T16	N ₂ P ₂ K ₂ Cu	60.29cd	0.948ef	0.011efg
T17	N ₂ P ₂ K ₂ Zn	53.26de	0.936ef	0.011defg
T18	N ₂ P ₂ K ₂ BCuZnMo	65.37bcd	0.939ef	0.012abcde

1) 表中的值为最小二乘均数(LSMEAN),同列数据后凡有一个相同小写字母者,表示该性状不同处理间差异不显著($P>0.05$)。

2.1.2 加勒比松生长对各元素丰缺的反应 为分析加勒比松对不同养分的需求规律,在其他元素固定的情况下,比较某一元素丰缺对生长的影响。

在磷、钾施用量相同的情况下($P_2O_5 = 30 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$, $K_2O = 30 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$),比较4个氮水平对加勒比松生长的影响(图1),结果表明,施氮量为 $21.5 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ 可显著促进株高的增长,增大氮水平则无肥效反应。当 $m(N):m(P_2O_5):m(K_2O) = 43:30:30$ 时,胸径与材积增长比其他处理均有显著降低,而进一步提高氮施用量($N = 64.5 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$)后,胸径与材积增长与氮施用量为 $=0$ 及 $21.5 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ 相似,可见这种抑制效果并非过量施氮引起的,而是一定比例的氮磷钾之间或对某种其他元素产生了拮抗。另外,当 P_2O_5 施用量为 $15 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$, K_2O 施用量为 $30 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ 时,比较 T14($N_1P_1K_2$) 与 T7($N_2P_1K_2$) 的生长量(表3),株高与材积增量相似,而胸径生长 $N_2P_1K_2 > N_1P_1K_2$ ($P<0.05$),可能与 T14 组 $m(N):m(P_2O_5) = 43:30$ 的投入比例有关。

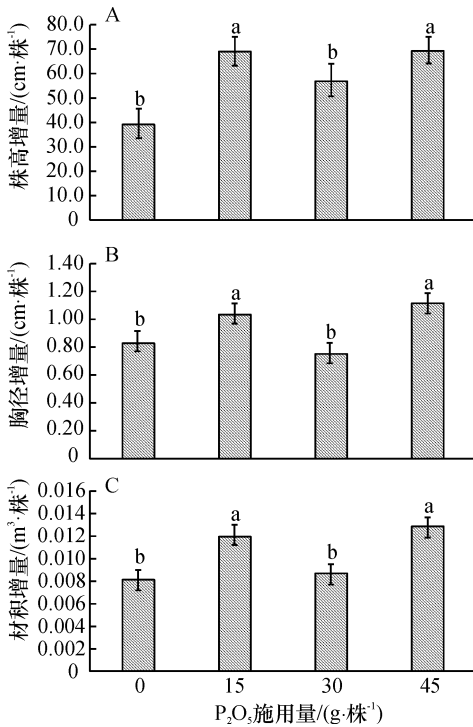


图中4个处理中,施 $P_2O_5 = 30 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$, 施 $K_2O = 30 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ 。图中的值为最小二乘均数(LSMEAN)及其标准误,同一性状不同处理柱上凡有一个相同小写字母者,表示该性状不同处理间差异不显著($P>0.05$)。

图1 不同氮施用量对加勒比松人工林单株生长的影响
Fig.1 The effects of N application amounts on the growth of individual *Pinus caribaea* var. *caribaea* plant

在氮、钾施用量相同的情况下($N = 43 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$, $K_2O = 30 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$),比较4个磷水平对加勒比松生长的影响(图2)。株高、胸径、材积3个性状表现一致,加磷($P_2O_5 = 15 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$, $P_2O_5 = 45 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$)比无磷处理($N_2P_0K_2$)的生长量显著增大,表明磷营养对加勒比松高生长与粗生长都有重要作用。而 $m(N):m(P_2O_5):m(K_2O) = 43:30:30$ 的施肥配比表现特殊的抑制效果,与无磷处理效果一致,可见该配比产生的拮抗作用可能来自于氮磷或氮磷钾之间。

在氮、磷施用量相同的情况下($N = 43 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$, $P_2O_5 = 30 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$),比较4个钾水平对加勒比松生长的影响(图3)。结果表明,钾营养对加勒比松人工林单株生长无明显促进效果。而 $m(N):m(P_2O_5):m(K_2O) = 43:30:30$ 的施肥配比表现特殊的抑制效果,其胸径与材积增长低于无钾与其他钾处理。



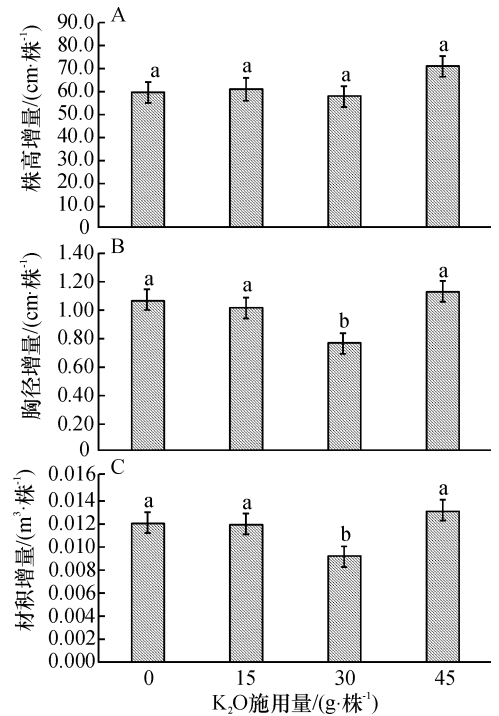
图中4个处理中,施N=43 g·株⁻¹,施K₂O=30 g·株⁻¹;图中的值为最小二乘均数(LSMEAN)及其标准误,同一性状不同处理柱上凡有一个相同小写字母者,表示该性状不同处理间差异不显著(P>0.05)。

图2 不同P₂O₅施用量对加勒比松人工林单株生长的影响
Fig. 2 The effects of P₂O₅ application amounts on the growth of individual *Pinus caribaea* var. *caribaea* plant

在氮、磷、钾施用量相同的情况下(N=43 g·株⁻¹, P₂O₅=30 g·株⁻¹, K₂O=30 g·株⁻¹),比较添加硼、铜、锌、以及硼+铜+锌+钼对加勒比松单株生长的影响(图4)。结果显示,在添加硼的条件下,材积增长显著高于对照,其中,氮、磷、钾+硼比单施氮、磷、钾材积增加22.2%,氮、磷、钾+硼+铜+锌+钼比单施氮、磷、钾材积增加33.3%。另外,氮、磷、钾+硼与氮、磷、钾+硼+铜+锌+钼处理比单施氮、磷、钾处理株高、胸径也有所增加,但未达到显著水平。可见,几种微量元素中,硼对加勒比松郁闭后生长有重要作用。

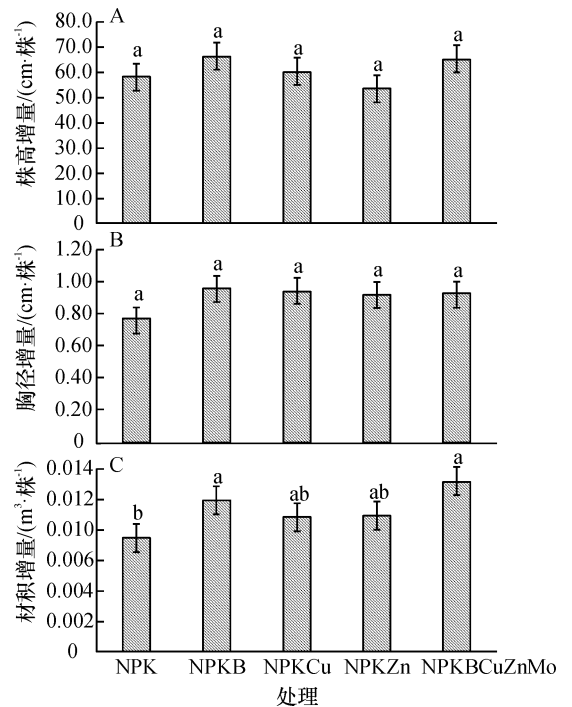
2.2 施肥处理对养分积累的影响

选取T1、T2、T3、T4、T6、T7、T8、T15 8个处理进行针叶养分分析。由于未作单株本底的养分分析,因此,无法判断施肥处理是否引起针叶养分的变化,但总体上,与空白对照相比,7种施肥处理未能显著影响针叶养分浓度。两两比较结果表明,氮、钾施用量相同时,T8(N₂P₃K₂)组的磷浓度显著高于T6(N₂P₀K₂)和T7(N₂P₁K₂)组(表4)。



图中4个处理中,施N=43 g·株⁻¹,施P₂O₅=30 g·株⁻¹;图中的值为最小二乘均数(LSMEAN)及其标准误,同一性状不同处理柱上凡有一个相同小写字母者,表示该性状不同处理间差异不显著(P>0.05)。

图3 不同K₂O施用量对加勒比松人工林单株生长的影响
Fig. 3 The effects of K₂O application amounts on the growth of individual *Pinus caribaea* var. *caribaea* plant



图中5个处理中,施N=43 g·株⁻¹,施P₂O₅=30 g·株⁻¹,施K₂O=30 g·株⁻¹。图中的值为最小二乘均数(LSMEAN)及其标准误,同一性状不同处理柱上凡有一个相同小写字母者,表示该性状不同处理间差异不显著(P>0.05)。

图4 添加不同微量元素对加勒比松人工林单株生长的影响
Fig. 4 The effects of different micronutrients on the growth of individual *Pinus caribaea* var. *caribaea* plant

表4 加勒比松在8种施肥处理下的针叶养分含量¹⁾Tab. 4 The foliar nutrient concentrations of *Pinus caribaea* var. *caribaea* under eight fertilization treatments

组别	处理方式	$w/(g \cdot kg^{-1})$				$w(B)/$ ($mg \cdot kg^{-1}$)
		N	P	K	Ca	
T1	$N_0P_0K_0$	$9.60 \pm 0.37ab$	$0.56 \pm 0.02ab$	$2.75 \pm 0.14a$	$1.11 \pm 0.14a$	$8.94 \pm 0.69a$
T2	$N_2P_2K_2$	$9.96 \pm 0.36ab$	$0.56 \pm 0.02a$	$3.00 \pm 0.14a$	$1.22 \pm 0.14a$	$9.26 \pm 0.66a$
T3	$N_0P_2K_2$	$9.72 \pm 0.37ab$	$0.57 \pm 0.02a$	$2.82 \pm 0.14a$	$1.35 \pm 0.14a$	$9.60 \pm 0.69a$
T4	$N_1P_2K_2$	$9.56 \pm 0.45ab$	$0.56 \pm 0.02a$	$3.11 \pm 0.17a$	$1.30 \pm 0.17a$	$9.11 \pm 0.83a$
T6	$N_2P_0K_2$	$10.30 \pm 0.37a$	$0.52 \pm 0.02b$	$2.71 \pm 0.14a$	$1.29 \pm 0.14a$	$9.97 \pm 0.69a$
T7	$N_2P_1K_2$	$9.18 \pm 0.42b$	$0.50 \pm 0.02b$	$2.73 \pm 0.16a$	$1.04 \pm 0.16a$	$8.25 \pm 0.77a$
T8	$N_2P_3K_2$	$9.62 \pm 0.42ab$	$0.59 \pm 0.02a$	$3.01 \pm 0.16a$	$1.04 \pm 0.16a$	$8.81 \pm 0.77a$
T15	$N_2P_2K_2B$	$10.03 \pm 0.42ab$	$0.56 \pm 0.02ab$	$2.76 \pm 0.16a$	$1.29 \pm 0.16a$	$10.31 \pm 0.77a$

1) 表中的值为最小二乘均数(LSMEAN),同列数据后凡有一个相同小写字母者,表示不同处理间差异不显著($P>0.05$)。

3 讨论与结论

本研究采用的试验地位于广东省阳东县,为加勒比松的栽培最适宜区,有潜力发展建设加勒比松速生丰产林基地^[12]。试验采用的古巴加勒比松人工林具有良好的生长表现,8年生平均树高达7.06 m,平均胸径达11 cm。对比全国第2次土壤普查及有关标准,试验林的土壤氮、磷、钾、硼养分均处于最低级别,有机质为中下水平,表明该树种具有较强的耐瘠薄特性。8年生为松树林分郁闭后的养分敏感期。试验结果表明,合理施肥可表现出较好的肥效,氮、磷、钾最佳组合($N = 21.5 g \cdot 株^{-1}$, $P_2O_5 = 30 g \cdot 株^{-1}$, $K_2O = 15 g \cdot 株^{-1}$)下的材积增量比对照大23.5%,单株每年可增加 $0.003 m^3$,增收效益可观。

比较17种施肥处理与空白对照的生长增量,发现合理的氮、磷、钾配比及氮、磷、钾与微量元素混合追肥对树高、胸径与材积均有显著促进效应。17个组合处理中,表现优良的为 $m(N):m(P_2O_5) = 21.5:30$ 组合,2个处理对株高、胸径或材积表现出促进效果。磷的缺素处理(T6)对胸径及材积均有显著抑制,而氮、钾缺素处理(T3、T9)则无显著抑制,表明8年生加勒比松生长对磷的反应最敏感。N、P配施表现最差的为 $m(N):m(P_2O_5) = 43:30$ 组合,特别当 $m(N):m(P_2O_5):m(K_2O) = 43:30:30$ (T2)时有特殊的抑制效果,这与林书蓉等^[45]发现氮、磷、钾相同配比时,基肥与幼林追肥均表现特殊低效应有一定的相似之处。此外,在油茶^[13]、日本落叶松^[14]等树种也曾发现某些氮、磷、钾配比非但不能产生肥效,处理后其生长反而低于不施肥对照,表明了氮、磷、钾合理配比施肥的重要性。前人在烤烟的施肥研究中指出,氮磷、氮钾、磷钾间互作可能存在一个阈值,低于这个阈值时氮、磷、钾间都表现为协同促进作用,高于

这个阈值时则都表现为拮抗作用^[15]。本试验的氮源为尿素,植物根系可直接吸收尿素,当尿素浓度较低时,可能启用了尿素转运蛋白,而浓度较高时则可能调用了离子通道类蛋白^[16],因此,不同浓度下尿素与磷肥、钾肥配比引起的元素拮抗效果可能不同。 $m(N):m(P_2O_5):m(K_2O) = 43:30:30$ 配比下有可能由于膜上几类转运蛋白的占位,抑制了某些其他中量或微量元素的吸收利用,这有待于进一步进行机理性的研究。

前人对松树的肥效研究多集中在湿地松、火炬松等美国南方松上,美国东南部试验林的研究结果表明,南方松在基肥时添加磷,轮伐中期添加氮、磷可显著提高人工林生长量^[17-18];而澳大利亚湿地松人工林的研究结果则表明,基肥与追肥时采用磷肥可显著提高林分生长,而氮、钾、铜则无明显促进作用^[19],可见树种的需肥特性受立地条件的影响较大。本研究在粤西加勒比松人工林研究古巴加勒比松的肥效反应,结果表明,郁闭后加勒比松的生长对磷、硼有明显反应,适量氮对株高增长有促进作用,钾对生长无明显促进效果。

对其中8个处理的针叶养分进行采样分析,结果显示,施肥未显著提高针叶养分的浓度,可能与生长后的稀释效应有关,也可能说明生长已稳定的针叶不是养分输送的主要部位。另外,与美国南方松最小养分水平相比,本研究加勒比松针叶的磷水平远低于南方松所需的 $0.9 \sim 1.2 g \cdot kg^{-1}$ ^[18],可能1次施肥未能矫正加勒比松人工林的缺磷症状。

笔者研究了加勒比松人工林的肥效反应,发现加勒比松郁闭后对磷、硼与氮的需求规律,并筛选获得较适宜的氮磷钾配比。下一步将在适宜的氮、磷、钾配比下添加硼等微量元素,以进一步提高加勒比松人工林的生产力。本研究对于指导加勒比松的施

肥管理、提高加勒比松人工林的经济效益具有重要意义。

参考文献:

- [1] DIETERS M J, NIKLES D G. The genetic improvement of Caribbean pine (*Pinus caribaea* Morelet)-building on a firm foundation[C]// Southern Forest Tree Improvement Committee. 24th biennial southern forest tree improvement conference proceeding. Orlando: University of Florida, 1997:33-52.
- [2] 王豁然,王琦. 中国引种加勒比松: I:引种与遗传改良[J]. 林业科学研究,1996,9(6):68-75.
- [3] 陈斌,潘志刚. 20年生加勒比松种源试验研究[J]. 广东林业科技,2004,20(3):1-4.
- [4] 林书蓉,李淑仪,廖观荣,等. 施用基肥对加勒比松幼林生长的影响[J]. 土壤与环境,2000,9(1):49-52.
- [5] 林书蓉,李淑仪,廖观荣,等. 加勒比松幼林追肥试验研究[J]. 土壤与环境,1999,8(3):216-220.
- [6] MARTIN S W, BAILEY R L, JOKELA E J. Growth and yield predictions for lower coastal plain slash pine plantations fertilized at mid-rotation [J]. South J Appl For, 1999,23(1):39-45.
- [7] AMATEIS R L, LIU J, DUCEY M J, et al. Modeling response to midrotation nitrogen and phosphorus fertilization in loblolly pine plantations [J]. South J Appl For, 2000, 24(4):207-212.
- [8] PIATEK K B, ALLEN H L. Nitrogen mineralization in a pine plantation fifteen years after harvesting and site preparation[J]. Soil Sci Soc AM J, 1999,63(4):990-998.
- [9] PIATEK K B, ALLEN H L. Are forest floors in mid-rotation stands of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) a sink for nitrogen and phosphorus? [J]. Can J Forest Res, 2001, 31(7):1164-1174.
- [10] WEST PW. Tree and forest measurement[M]. New York: Springer, 2009:18.
- [11] 宗亦臣,郑勇奇,陈斌,等. 加勒比松杂交育种试验[J]. 东北林业大学学报,2011,39(3):1-4.
- [12] 潘文,蔡坚. 广东省加勒比松栽培区划的研究[J]. 广东林业科技,2002,18(3):1-5.
- [13] 陈宜木. 山茶属3种食用油植物苗期施肥效应研究[D]. 福州:福建农林大学,2012.
- [14] 祁万宜,孙晓梅,张守攻,等. 日本落叶松中龄林施肥效应研究[J]. 湖北林业科技,2007,36(4):12-17.
- [15] 李莎. 氮磷钾配比对烤烟生长发育及产质量的影响[D]. 重庆:西南大学,2008.
- [16] LIU L H, LUDEWIG U, GASSERT B, et al. Urea transport by nitrogen-regulated tonoplast intrinsic proteins in *Arabidopsis*[J]. Plant Physiol, 2003, 133(3):1220-1228.
- [17] JOKELA E J. Nutrient management of southern pines [C]//DICKENS E D, BARNETT J P, HUBBARD W G, et al. Slash pine: Still growing and growing! proceedings of the slash pine symposium. Asheville: USDA Forest Service, Southern Research Station, 2004:27-35.
- [18] FOX T R, ALLEN H L, ALBAUGH T J, et al. Forest fertilization in southern pine plantations[J]. Better Crops, 2006,90(3):12-15.
- [19] XU Z H, SIMPSON J A, OSBORNE D O. Mineral nutrition of slash pine in subtropical Australia: I: Stand growth response to fertilization [J]. Fert Res, 1995, 41(2):93-100.

【责任编辑 柴 焰】