浙 江 农 林 大 学 学 报，2012，**29**(2)：296 – 300
Journal of Zhejiang A & F University

氮磷钾配比施肥对降香黄檀苗木生长及生理的影响

吴国欣[1,2]，王凌晖[2]，梁惠萍[2]，李远发[3]，郝　建[4]

（1. 广西林业勘测设计院，广西 南宁 530011；2. 广西大学 林学院，广西 南宁 530005； 3. 中国林业科学研究院 林业研究所 国家林业局林木培育重点实验室，北京 100091；4. 中国林业科学研究院 热带林业实验中心，广西 凭祥 532600）

摘要：采用正交设计设置氮、磷、钾 3 因素 4 水平的施肥试验，研究氮、磷、钾配比施肥对降香黄檀 *Dalbergia odorifera* 苗木生长及生理的影响。结果表明：①不同的氮、磷、钾配施处理对降香黄檀苗木各项生长生理指标均有显著影响。在 9 种配施组合处理中，氮 0.45 g·盆$^{-1}$、磷 0.30 g·盆$^{-1}$(N2P3K1)处理可以促进降香黄檀苗木的高、径生长和生物量的积累； N2P3K1 和氮 1.80 g·盆$^{-1}$、磷 0.15 g·盆$^{-1}$(N3P2K1)处理有利于降香黄檀苗木叶绿素质量分数的提高；N2P3K1 和氮 0.45 g·盆$^{-1}$、磷 0.15 g·盆$^{-1}$、钾 0.60 g·盆$^{-1}$(N2P2K3)处理有利于可溶性糖质量分数的提高；②氮、磷、钾 3 种元素对降香黄檀苗木生长和生理的影响效应不同，以磷为最大，其次是钾，氮的影响效应最小；③降香黄檀苗木各项生长、生理指标与氮、磷、钾施用量之间存在二次函数关系。根据二次函数方程求得 2 年生降香黄檀苗木的合理养分元素施用量，氮肥为 1.74~2.15 g·盆$^{-1}$、磷(P_2O_5)为 2.40~2.60 g·盆$^{-1}$、钾(K_2O)肥 0.35~0.75 g·盆$^{-1}$。表 4 参 12

关键词：森林培育学；降香黄檀；氮磷钾配比；苗木生长；苗木生理

中图分类号：S723.6　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：2095-0756(2012)02-0296-05

Fertilizer treatments for growth and physiology of *Dalbergia odorifera* seedlings

WU Guo-xin[1,2]，WANG Ling-hui[2]，LIANG Hui-ping[2]，LI Yuan-fa[3]，HAO Jian[4]

（1. Guangxi Forestry Survey & Design Institute，Nanning 530011，Guangxi, China；2. Forestry College，Guangxi University，Nanning 530005，Guangxi，China；3. Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation of State Forestry Administration，Research Institute of Forestry，Chinese Academy of Forestry，Beijing 100091，China；4. Experimental Center of Tropical Forestry，Chinese Academy of Forestry，Pingxiang 532600，Guangxi，China）

Abstract：Fertilization with different ratios of nitrogen(N)，phosphorus (P)，and potassium (K)，for growth physiology of *Dalbergia odorifera* seedlings was tested using an $L_9(3^4)$orthogonal design and regression analysis. Results among the nine combinations，showed that for growth of height and diameter as well as biomass accu mulation，0.45 g·pot^{-1} N，0.30 g·pot^{-1} P_2O_5 (N2P3K1) was best；for increases of chlorophyll content in leaves, N2P3K1 and 1.80 g·pot^{-1}N，0.15 g·pot^{-1}P_2O_5 (N3P2K1) were best；and for increases of soluble sugar content in leaves，N2P3K1 and 0.45 g·pot^{-1} N，0.15 g·pot^{-1} P_2O_5，0.6 g·pot^{-1} K_2O (N2P2K3) were best. For growth and physiology，P was most important，then K，and then N. Quadratic regression models of growth and physiology for two-year-old *D. odorifera* seedlings were established for N，P，and K showing suitable application amounts of N as 1.74~2.15 g·pot^{-1}，P_2O_5 as 2.40~2.60 g·pot^{-1}，and K_2O as 0.35~0.75 g·pot^{-1}. [Ch，4 tab. 12 ref.]

Key words：silviculture；*Dalbergia odorifera*；NPK ratio; seedling growth；seedling physiology

---

收稿日期：2011-06-01；修回日期：2011-08-16

基金项目：“十一五”广西林业科学研究项目(林科字[2007]第 23 号)；广西大学博士启动基金项目

作者简介：吴国欣，助理工程师，从事营造林工程规划和森林培育研究。E-mail：wuguoxin2004@163. com。通信作者：王凌晖，教授，博士，从事森林培育研究。E-mail：wanglinghui97@163. com

降香黄檀 *Dalbergia odorifera*，别名花梨、香红木、香枝木、花梨木、黄花梨，商品名 Scentedros wood(香红木)，属豆科 Leguminosae 黄檀属 *Dalbergia* 植物，为国家二级保护植物。1985 年，日本学者从降香黄檀心材中分离并鉴定了 5 种黄酮体化合物[1]，1990 年又获得 4 种新的二聚体黄酮[2]。可见，降香黄檀具有极高的经济价值，其木材质地坚硬沉重，纹理细密，花纹美观，色泽油润，坚固耐腐，是高档家具上等用材，也是中国国家标准 5 属 8 类 34 种红木之一，排位仅次于紫檀类的一些珍贵红木。同时，它还含有芳香油，含芳香物高的心材可入药代替降香。心材蒸馏得到的降香油，气味清香，不易挥发，是香料的定香剂，也是高级镇痛药材，有抗血凝、氧化、扩冠脉等作用。总之，降香黄檀不仅药用和经济价值非常高，而且耐干旱瘠薄，是一个值得推广的珍贵树种[3-4]。由于降香黄檀木材十分珍贵，人为过度砍伐，造成野生资源濒临灭绝。为了拯救这一濒危树种，保护现有种质资源，近年来人们加强了降香黄檀的引种和栽培技术研究[5-7]，但对苗期施肥和壮苗培育研究较少。本研究在降香黄檀盆栽苗育苗期进行了不同氮、磷、钾施肥配比试验研究，了解施肥对其苗木生长及生理的影响，旨在探寻降香黄檀育苗管理期的科学施肥技术措施，为培育降香黄檀的优质苗木提供依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

试验于 2007 年 2 月至 2008 年 2 月在广西大学林学院苗圃基地内进行。供试苗木为 2 年生长势良好、大小均匀的实生苗，平均苗高为 29.4 cm，平均地径 1.01 cm。实验盆采用 30 cm（直径）× 18 cm（高）的塑料盆，装土 6 kg·盆$^{-1}$。试验地土壤为砂土，pH 5.0，有机质为 3.5 g·kg^{-1}，全氮 0.46 g·kg^{-1}，碱解氮 40.1~45.2 mg·kg^{-1}，全磷 0.40 g·kg^{-1}，速效磷 317 mg·kg^{-1}，速效钾 5.7 mg·kg^{-1}。

1.2　试验方法

1.2.1　*试验设计*　为探索降香黄檀苗期生长对氮、磷、钾需求的最佳配比，采用 $L_9(3^4)$正交设计[8]，以不施肥料为对照(ck)，共 10 个处理，重复 5 次，每重复 10 盆小区。各处理按完全随机排列，施肥处理的试验设计见表 1。

表 1　施肥处理的试验设计

Table 1　Experimental design of fertilization treatments

施肥水平	氮(纯 N)/(g·盆$^{-1}$)	磷(P_2O_5)/(g·盆$^{-1}$)	钾(K_2O)/(g·盆$^{-1}$)
1	0	0	0
2	0.45	0.15	0.30
3	0.90	0.30	0.60
4	1.80	0.60	1.20

1.2.2　*供试肥料与施肥方法*　氮肥为分析纯尿素(美国产，含氮量 460 g·kg^{-1})，磷肥为化学纯过磷酸钙(中国江苏产，含五氧化二磷 120 g·kg^{-1})，钾肥为分析纯硫酸钾(中国北京产，含氧化钾 448 g·kg^{-1})。其中，磷肥作基肥，在 2007 年 2 月份移栽苗时一次性施入，氮肥和钾肥在 2007 年 6-8 月分 3 次等量作追肥溶解于水中浇入盆栽苗土壤中。

1.2.3　*指标测定*　生长量和生物量的测定均在试验结束时进行(2008 年 2 月)；叶绿素用分光光度-乙醇法测定[10]；可溶性糖质量分数用蒽酮比色法测定[9]。

1.2.4　*试验统计方法*　计算均采用 SPSS 软件进行。

2　结果与分析

2.1　氮、磷、钾肥对降香黄檀苗的生长效应

2.1.1　*不同氮、磷、钾配比施肥对苗高和地径的影响*　由表 2 可知：施肥后苗高和地径都有明显的提高，各施肥处理的苗高和地径粗度都明显高于对照。最好的处理组合为 N2P3K1，其苗高和地径分别为 67.6 cm 和 8.6 mm，是对照的 197%和 127%。不同施肥处理对苗高和地径的影响各不相同，其中 N2P3K1 和 N2P2K3 处理效果最好，N1P1K1 和 N3P3K2 等处理效果最差。可见施肥配比非常重要。如果施肥配方不合理，即使增大施肥量，也不能增加生长量，甚至可能导致生长量下降。

表 2 不同配施处理对降香黄檀苗木各生长和生理指标的影响

Table 2 Effects of different combination of fertilization treatments on the growth and physiological indexes of *Dalbergia odorifera* seedlings

处理号	苗高/cm	地径/cm	生物量/g			根冠比	叶绿素/($mg \cdot g^{-1}$)	可溶性糖/($g \cdot kg^{-1}$)
			地上部分	地下部分	总生物量			
N0P0K0(对照)	34.3	6.7	24.37	16.77	41.1	0.69	2.011	31.0
N1P1K1	41.0	6.9	28.40	17.53	45.5	0.60	2.169	45.8
N1P2K2	57.7	7.8	29.50	17.01	47.0	0.59	2.395	44.3
N1P3K3	59.7	8.1	27.73	18.50	46.2	0.67	2.264	45.8
N2P1K2	60.1	8.2	34.57	24.63	59.2	0.71	2.234	48.5
N2P2K3	64.8	8.4	31.37	20.60	52.0	0.66	2.318	51.9
N2P3K1	67.6	8.6	36.20	29.07	65.3	0.80	2.465	54.1
N3P1K3	56.5	7.6	29.57	22.57	52.1	0.76	2.371	42.7
N3P2K1	47.4	7.4	31.37	19.53	50.9	0.62	2.435	43.4
N3P3K2	41.4	7.0	35.30	25.53	60.8	0.73	2.014	38.4

方差分析结果表明：氮、磷、钾不同施肥量水平对苗高和地径生长均有显著效应($0.05>P=0.033>0.01$，$0.05>P=0.036>0.01$)。3 个因素中磷的离差平方和最大，氮次之，钾最小，说明在降香黄檀苗期的施肥上要重视磷肥的施用。

2.1.2 *不同氮、磷、钾配比施肥对苗木生物量的影响* 施肥能提高降香黄檀苗木的生物量，但不同的施肥处理效应不同(表 2)，多数处理间存在极显著差异($P=0.003<0.01$)。9 种配施处理中，以 N2P3K1 处理的效果最好，其地上、地下部分生物量及总生物量分别是对照的 149%，173%和 159%；较差的处理是 N1P2K2 和 N1P1K1。

2.1.3 *不同氮、磷、钾配比施肥对苗木根冠比的影响* 不同的氮、磷、钾配施对降香黄檀苗木的根冠比也产生一定的影响(表 2)。方差分析表明：氮、磷、钾配施对苗木的根冠的影响达到显著的差异($0.05>P=0.015>0.01$)。施肥后，根冠比均有不同程度提高，平均根冠比为 0.68，比对照提高 40.8%。9 个处理中以 N2P3K1 处理的根冠比最大，为 0.80，说明该处理苗木根部的干物质积累较多，从而提高了苗木的质量，进一步提高苗木整体素质。

2.2 氮、磷、钾肥对降香黄檀苗的生理效应

2.2.1 *不同氮、磷、钾配比施肥对降香黄檀苗叶绿素的影响* 叶绿素是植物光合作用的物质基础，叶绿素的高低影响到光合产物的积累，从而影响到植物的生长[10]。氮、磷、钾配施后，叶片叶绿素有明显提高，但不同施肥处理对叶绿素的影响不同(表 2)。9 种配施处理中以 N2P3K1 和 N3P2K1 处理的叶片叶绿素较高，分别是对照的 123%和 121%。N3P3K2 处理的叶片叶绿素较低，接近于对照处理。方差分析表明：氮、磷、钾配施对叶绿素的影响达到显著的差异($0.05>P=0.042>0.01$)。磷肥对降香黄檀叶片叶绿素影响最大，钾肥次之，氮肥影响最小。说明磷在降香黄檀苗木的生长中起着关键性作用。适量的施肥水平会对苗木的生理活动产生促进作用，而不合理的施肥配比则容易使苗木生理发育失衡。氮素偏高而钾偏低导致糖转化受阻，光合作用减弱，故其叶绿素较低。

2.2.2 *不同氮、磷、钾配施对降香黄檀苗可溶性糖质量分数的影响* 糖是植物光合作用的直接产物，受植物生长状况的影响较大，也是其他生理活动的基础，所以叶片中可溶性糖质量分数变化可以表示植物活动的生长状态和正常性[11]。不同氮、磷、钾元素配施对降香黄檀苗木叶片可溶性糖质量分数的影响不同(表 2)。配施后叶片可溶性糖均有不同程度的提高，均高于照，但不同处理的效应不同。9 种处理中，最好的处理组合是 N2P3K1，其可溶性糖质量分数是对照相的 174%；其次是 N2P2K3 和 N2P1K2 处理，较差的处理是 N3P3K2 和 N3P1K3。说明适当增加氮肥和钾肥用量对植株可溶性糖质量分数有一定的促进作用，用量过多反而不利于提高。对于磷肥用量而言，少量的磷肥完全供应给地下部分的根系吸收利用，而随着用量达到适宜时，才达到提高叶片可溶性糖质量分数目的。

方差分析表明：氮、磷、钾对叶片可溶性糖质量分数均有显著效应($0.05>P=0.033>0.01$)，且氮的影响效应最大，磷次之，钾最小。

2.3　降香黄檀苗氮、磷、钾配比施肥的数学模型分析

本研究采用的正交设计是一种不完全的试验设计，即氮、磷、钾处理组合是不完全的，这样客观上存在的最佳氮、磷、钾配比未必出现在试验处理组合中。因此，有必要建立肥料效应函数来求解氮、磷、钾最佳理论施肥量。有关研究资料表明，苗木生长与各种肥料的施用量成二次函数关系[12]。根据这种函数关系求得多元多项式回归方程(表 3)。结果表明：各回归方程的决定系数均较大，拟合程度极高，可以用来预测不同氮(x_1)，磷(x_2)，钾(x_3)施肥量下的降香黄檀各项生长和生理指标。

表 3　氮磷钾用量与苗木生长和生理指标的回归方程

Table 3　Regression equations between rates of N，P，and K and for the growth or physiological indexes of the tree seedlings

指标	回归方程	决定系数 R^2	F 值
苗高	$y=62.30+2.50x_1+0.40x_2+5.55x_3+0.24x_1^2+1.23x_1x_2-0.22x_2^2-0.79x_2x_3-1.18x_1x_3$	0.846 8	46.80
地径	$y=22.13+1.84x_1+1.75x_2+4.21x_3-0.35x_1^2+1.12x_1x_2-0.11x_2^2-0.22x_2x_3-0.02x_1x_3$	0.800 4	50.23
地上部分生物量	$y=7.50+1.44x_1+0.55x_2+1.14x_3-0.54x_1^2+0.22x_1x_2-0.32x_2^2-0.20x_2x_3-0.15x_1x_3$	0.742 1	31.24
地下部分生物量	$y=12.00+2.22x_1+0.20x_2+2.34x_3-0.1x_1^2+0.64x_1x_2-0.33x_2^2-0.42x_2x_3-0.48x_1x_3$	0.746 8	25.36
总生物量	$y=19.50+3.64x_1+0.77x_2+3.45x_3-0.65x_1^2+0.90x_1x_2-0.66x_2^2-0.65x_2x_3-0.64x_1x_3$	0.798 5	34.15
叶绿素	$y=4.40+0.68x_1+1.56x_2-0.12x_2^2+0.45x_1x_2-0.17x_2x_3-0.34x_1x_3$	0.878 9	54.36
可溶性糖	$y=4.01+0.42x_1+1.88x_2-0.24x_2^2+0.68x_1x_2-0.35x_2x_3-0.29x_1x_3$	0.889 9	56.21

对上述求得的回归方程中的各因素(x_1，x_2，x_3)求偏导数，可求出各项生长和生理指标最佳的氮、磷、钾配比施肥量（表 4)，从而确定 2 年生降香黄檀苗木氮、磷、钾适宜的施肥量范围为：氮 1.74~2.15 g·盆$^{-1}$；磷(P_2O_5)2.40~2.60 g·盆$^{-1}$；钾(K_2O)0.35~0.75 g·盆$^{-1}$。

表 4　降香黄檀苗木适宜施肥量

Table 4　Proper application amounts of N，P，and K for *Dalbergia odorifera* seedlings

指标	氮(纯 N)/(g·盆$^{-1}$)	磷(P_2O_5)/(g·盆$^{-1}$)	钾(K_2O)/(g·盆$^{-1}$)
苗高	1.96	2.60	0.75
地径	2.15	2.58	0.70
地上部分生物量	1.87	2.50	0.35
地下部分生物量	1.80	2.47	0.37
总生物量	1.74	2.43	0.45
叶绿素	1.75	2.40	0.55
可溶性糖	1.80	2.49	0.60
适宜范围	1.74~2.15	2.40~2.60	0.35~0.75

3　结论

不同的氮、磷、钾配比施肥对降香黄檀苗木各项生长指标均有显著影响。在 9 种配施处理中，以 N2P3K1 为最优，以 N1P1K1 和 N3P3K2 处理相对较差，这说明合理的施肥配比非常重要。

不同的氮、磷、钾配施处理对降香黄檀苗木叶片的叶绿素、可溶性糖质量分数也存在显著影响。就叶片叶绿素质量分数来看，以 N2P3K1 和 N3P2K1 处理最好;对叶片可溶性糖质量分数而言，以 N2P3K1 和 N2P2K3 处理最好。

苗木生长生理指标与各种肥料的施用量成二次函数关系，由此建立多元回归方程，并求出 2 年生降香黄檀苗木适宜的氮、磷(P_2O_5)、钾(K_2O)施肥量分别为 1.74~2.15 g·盆$^{-1}$，2.40~2.60 g·盆$^{-1}$ 和 0.35~0.75 g·盆$^{-1}$。

参考文献：

[1]　OGATA T，YAHARA S，HISATSUNE R，*et al*. Isoflavan and related compounds from *Dalbergia odorifera*[J]. *Chem Pharm Bull*，1990，**38**(10)：2750 – 2755.

[2]　GOAD Y，KIUCHI F，SHIBUYA M，*et al*. Inhibitors of prostaglandin biosynthesis from *Dalbergia odorifera* [J].

Chem Pharm Bull, 1992, **40**(9): 2452 – 2457.

[3] 倪臻，王凌晖，吴国欣，等. 降香黄檀引种栽培技术研究概述[J]. 福建林业科技，2008，**35**(2)：266 – 268.
NI Zhen, WANG Linghui, WU Guoxin, *et al*. A review of studies on the introduction and cultivation technology of *Dalbergia odorifera*[J]. *J Fujian For Sci Technol*, 2008, **35**(2): 266 – 268.

[4] 吴国欣，王凌晖，俞建妹，等. 降香黄檀幼苗年生长节律研究[J]. 浙江林业科技，2010，**30**(3)：15 – 19.
WU Guoxin, WANG Linghui, YU Jianmei, *et al*. Study on growth rhythm of *Dalbergia odorifera* seedlings [J]. *J Zhejiang For Sci Technol*, 2010, **30**(3): 15 – 19.

[5] 孟慧，杨云，冯锦东. 降香黄檀引种栽培现状与发展[J]. 广东农业科学，2010(7)：79 – 80.
MENG Hui, YANG Yun, FENG Jindong. Status and development on the introduction and cultivation of *Dalbergia odorifera*[J]. *Guangdong Agric Sci*, 2010(7): 79 – 80.

[6] 郭文福，贾宏炎. 降香黄檀在广西南亚热带地区的引种[J]. 福建林业科技，2006，**33**(4)：152 – 155.
GUO Wenfu, JIA Hongyan. The introduction of *Dalbergia odoriferain* southern subtropical area of Guangxi [J]. *J Fujian For Sci Technol*, 2006, **33**(4): 152 – 155.

[7] 林伟龙. 降香黄檀引种试验栽培技术与推广[J]. 林业勘察设计，2008(1)：181 – 183.
LIN Weilong. Cultivation technique and popularization of introduction experiment of *Dalbergia odorifera* [J]. *For Prospect & Des*, 2008(1): 181 – 183.

[8] 刘盛. 林业试验设计与多元统计分析[M]. 长春：吉林科学技术出版社，2003：110 – 115.

[9] 陈建勋. 植物生理学实验指导[M]. 广州：华南理工大学出版社，2006：168 – 170.

[10] 王沙生，高荣孚，吴贯明，等. 植物生理学[M]. 2 版. 北京：中国林业出版社，1991：71 – 72.

[11] 黄建国. 植物营养学[M]. 北京：中国林业出版社，2004：108 – 110.

[12] 左海军，马履一，王梓，等. 苗木施肥技术及其发展趋势[J]. 世界林业研究，2010，**23** (3)：39 – 43.
ZUO Haijun, MA Lüyi, WANG Zi, *et al*. Research on fertilizer application technology for seedlings and its development trends [J]. *World For Res*, 2010, **23**(3): 39 – 43.