

# 施肥对交趾黄檀幼龄林生长和养分分配的影响\*

黄桂丹<sup>1</sup> 黄万和<sup>1</sup> 李学强<sup>1</sup> 陈志生<sup>1</sup> 洪舟<sup>2</sup>

(1. 广东省龙眼洞林场, 广东广州 510520; 2. 中国林业科学研究院 热带林业研究所, 广东广州 510520)

**摘要** 以1年生交趾黄檀 *Dalbergia cochinchinensis* 幼龄林为研究材料, 采用不同的基肥和追肥处理对幼龄林的生长和不同组织器官的养分含量进行分析, 同时通过隶属函数值综合评价交趾黄檀幼龄林对不同施肥处理的综合响应。结果表明: 合理施肥能显著促进交趾黄檀幼树的生长, 在添加复合肥 2 kg 作为基肥, 每隔 3 个月追肥 0.25 kg (T6) 时, 幼林树高和地径生长表现最佳, 分别达到 189.58 cm 和 38.24 cm。施肥处理有利于苗木的鲜质量、地上生物量和植株总生物量的积累。施肥对交趾黄檀人工幼龄林林木营养元素分配影响明显, 最佳施肥处理的根、茎和叶的 N 元素含量分别提高了 97.29%、105.06% 和 59.83%。综合评价得出: 通过添加复合肥 2 kg 作为基肥, 每隔 3 个月追肥 0.25 kg 的施肥方式对交趾黄檀幼林的生长和养分分配综合效益影响最好。

**关键词** 交趾黄檀; 施肥方式; 幼龄林; 生长; 养分分配

中图分类号: S723.1 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2022) 02-0112-08

## Effects of Fertilization on Growth and Nutrient Allocation of Young Forest for *Dalbergia cochinchinensis*

HUANG Guidan<sup>1</sup> HUANG Wanhe<sup>1</sup> LI Xueqiang<sup>1</sup> CHEN Zhisheng<sup>1</sup>  
HONG Zhou<sup>2</sup>

(1. Longyandong Forest Farm of Guangdong Province, Guangzhou, Guangdong 510520, China; 2. Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou, Guangdong 510520, China)

**Abstract** The fertilization methods and fertilizer amounts were selected based on the comprehensive analysis of membership function for the young stage of afforestation of *Dalbergia cochinchinensis*. Using young stage of afforestation of *D. cochinchinensis* as research materials, the tree growth and nutrient content of different tissues were estimated using ANOVA and Duncan test, and the comprehensive benefit of the different fertilization methods were evaluated by the subjection function value. The treatment T6 involving base fertilizer with 2 kg and topdressing 0.25 kg every 3 months was significantly improved the growth of young trees, the tree height and ground diameter were 189.58 cm and 38.24 cm, respectively. Fertilization treatment was conducive to the accumulation of fresh quality, aboveground biomass and total biomass of seedlings. The distribution of nutrient elements in young plantation of *D. cochinchinensis* was significant effect by fertilization. With best fertilization treatment, the N content of roots, stems and leaves increased by 97.29%, 105.06% and 59.83%, respectively. In the comprehensive evaluation, the treatment involving base fertilizer with 2 kg and topdressing 0.25 kg every 3 months had the best influence on the growth and nutrient allocation in the young stage of *D. cochinchinensis*. The

\* 基金项目: 广东省林业科技创新项目 (2019KJCX024)。

第一作者: 黄桂丹 (1977—), 女, 高级工程师, 主要从事林业技术研究等工作, E-mail: 106420563@qq.com。

通信作者: 洪舟 (1981—), 男, 副研究员, 主要从事珍贵树种遗传改良等工作, E-mail: hzhou1981@sina.com。

results from this study can be used as a reference for early stages of *D. cochinchinensis* plantation growth.

**Key words** *Dalbergia cochinchinensis*; fertilization method; young forest; growth; nutrient allocation

交趾黄檀 *Dalbergia cochinchinensis* 为《红木》国家标准 (GB/T 18107-2017) 中珍贵酸枝木类用材树种之一, 属于豆科黄檀属植物<sup>[1]</sup>。交趾黄檀主要生长于中南半岛 (即越南、老挝、泰国、柬埔寨、缅甸、马来西亚 (西部) 和新加坡) 海拔 100~500 m 的半落叶季风雨林或河边常绿林中<sup>[2]</sup>。交趾黄檀木材强度大、硬度高、耐腐蚀, 纹理通直, 木纹细腻均匀, 易加工性能好, 主要用作高档家具和工艺雕刻、乐器等<sup>[3]</sup>。近年来, 中国林业科学研究院热带林业研究所引种交趾黄檀到中国海南、广东、广西、福建和云南地区, 表现出较强的适应性<sup>[4-7]</sup>。国内学者主要针对交趾黄檀在引种、育苗繁殖和种群多样性等方面开展研究工作<sup>[8-11]</sup>, 为交趾黄檀的栽培、加工和利用奠定了一定的基础。

研究表明, 在交趾黄檀苗木培育过程中, 通过合理的施肥方式和方法能增加育苗基质中养分, 提高苗木的产量以及质量, 避免过量施肥造成毒害<sup>[12]</sup>。合理的施肥用量和方式, 不但可以促进苗木快速生长和生物量积累, 而且能提高苗木对养分的吸收利用效率<sup>[13]</sup>。不合理的施肥方法导致肥料利用率严重低下, 既不符合苗木生长和营养需求规律, 又造成肥料浪费, 进一步增加土壤板结和环境污染的可能<sup>[14]</sup>。因此, 在大力提倡集约经

营, 保护环境的前提下, 采用最有效的施肥方式, 使养分最大程度的被植物吸收利用, 提高苗木质量, 显得尤为重要<sup>[15]</sup>。目前, 仅针对养分加载量对交趾黄檀容器苗生长的影响, 对交造林后, 早期栽培技术缺乏研究。本研究以 1 年生交趾黄檀实生苗作为试验材料, 通过设置不同的施肥量及方法进行处理, 探索适宜的施肥方法和施肥量对交趾黄檀幼龄林苗木生长和养分分配的影响, 以期对交趾黄檀早期抚育管理提供技术参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地设在广东省广州市增城区龙眼洞林场育苗基地 (113°39'24" E, 23°15'36" N)。属南亚热带季风气候, 年均温 22.4 °C, 年均相对湿度 79.5%, 年降雨量 1 820 mm, 主要集中在 4 - 7 月, 土壤类型为砖红壤, 土样指标: pH 5.28, 有机质含量 1.52 g · kg<sup>-1</sup>, 全氮含量 0.13 g · kg<sup>-1</sup>, 全磷含量 0.39g · kg<sup>-1</sup>, 全钾含量 30.24 g · kg<sup>-1</sup>, 速效氮含量 78.96 mg · kg<sup>-1</sup>, 速效磷含量 0.63 mg · kg<sup>-1</sup>, 速效钾含量 113.43 mg · kg<sup>-1</sup>。

### 1.2 试验材料

选用苗高和地径等基本一致、无病虫害的 1 年生交趾黄檀作为大苗培育的试验用苗。苗木移

表 1 施肥方案

Table 1 Fertilization schedule

处理 Treatment	基肥 /kg Base fertilizer	施肥方式 Fertilization method				总施肥量 /kg Total fertilizer amount
		2019 年 10 月初	2020 年 1 月初	2020 年 4 月初	2020 年 7 月初	
CK	0	0	0	0	0	0
T1	1	0.250	0	0.250	0	1.5
T2	1	0.125	0.125	0.125	0.125	1.5
T3	1	0.500	0	0.500	0	2.0
T4	1	0.250	0.250	0.250	0.250	2.0
T5	2	0.500	0	0.500	0	3.0
T6	2	0.250	0.250	0.250	0.250	3.0
T7	3	0.500	0	0.500	0	4.0
T8	3	0.250	0.250	0.250	0.250	4.0

栽时(2019年8月下旬)其平均树高73.92 cm,平均地径7.58 mm,根、茎和叶的生物量平均为4.79、2.74和8.31 g·株<sup>-1</sup>。

### 1.3 试验方法

2019年10月初开始施用复合肥(N-P-K为15%-15%-15%,总养分≥45%)按照试验用量在距离根部20~30 cm开沟均匀施撒,共设置8个处理,以不施肥为对照(CK),随机区组,20株小区,3次重复。施肥量及施肥时间如表1。

### 1.4 项目测定

试验于2020年10月初,利用塔尺和数显游标卡尺分别测定参试苗木树高、地径指标。植株生物量:每个小区每个处理选取5株标准苗木,用清水冲洗干净后晾干,称其鲜质量,杀青,75℃烘干至恒质量,利用电子天平称量地上部分质量和地下部分质量。养分测定:烘干的样品经高速粉碎机(SPEX SamplePrep, Mixer/Mill 8000D, 1425 r·min<sup>-1</sup>)研磨后过0.25 mm筛,采用国家农业行业标准(NY/T 2421-2013)硫酸-过氧化氢法消煮提取制备提取液,采用凯氏定氮法测定全N含量,钼锑抗-比色法测定全P含量,火焰光度计法测定全K含量<sup>[16]</sup>。

苗木质量指数和生物量收获指数,施肥效率:按照以下公式<sup>[17-19]</sup>进行计算。苗木质量指数(QI)=苗木总干质量/[树高cm/地径mm)+(地上

部分干质量/地下部分干质量)]

生物量收获指数/(g·g<sup>-1</sup>)=施肥结束后的总生物量/施肥(NPK)总量

施肥效率/(g·g<sup>-1</sup>)=(施肥结束后的总生物量-CK总生物量)/施肥(NPK)总量。

### 1.5 数据分析

采用Microsoft Excel 2010整理数据;利用R4.2.0软件进行单因素方差(One-way ANOVA)分析和Duncan多重比较( $P < 0.05$ )<sup>[20]</sup>。

不同施肥方法和用量对交趾黄檀生长和养分分配的综合评价采用隶属函数法,公式为:

$$F_{(X_i)} = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$$

式中: $F_{(X_i)}$ 为隶属函数值, $X_i$ 、 $X_{\max}$ 、 $X_{\min}$ 分别为测定指标的平均值、最大值和最小值<sup>[21]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施肥处理对交趾黄檀生长的影响

由表2可知,施肥处理显著提高交趾黄檀幼树的生长,对树高影响为T6 > T5 > T8 > T7 > T3 > T4 > T1 > T2 > CK;对地径影响为T6 > T5 > T4 > T3 > T1 > T2 > T7 > T8 > CK。其中T6处理时,交趾黄檀幼林的树高和地径生长表现最佳,分别达到189.58 cm和38.24 cm。不施肥处理的对照(CK)最小,树高和地径分别为

表2 不同施肥处理下交趾黄檀生长表现

Table 2 Growth of *D. cochinchinensis* under different fertilization treatments

处理 Treatment	树高/cm Tree height	地径/mm Root-collar diameter	高径比 Ratio of height to diameter
CK	149.33 ± 39.67 c	32.45 ± 6.00 d	4.66 ± 1.04 b
T1	169.55 ± 43.74 ab	35.00 ± 4.45 bc	4.93 ± 1.64 ab
T2	163.45 ± 48.05 bc	34.66 ± 8.35bcd	4.77 ± 1.42 b
T3	178.88 ± 45.18 ab	35.15 ± 7.33 bc	5.59 ± 3.63 a
T4	177.88 ± 57.71 ab	35.06 ± 5.82 bc	5.01 ± 1.17 ab
T5	186.40 ± 62.46 a	36.96 ± 6.01 ab	5.17 ± 1.88 ab
T6	189.58 ± 57.93 a	38.24 ± 7.45 a	5.07 ± 1.82 ab
T7	179.68 ± 44.70 ab	33.51 ± 6.37 cd	5.60 ± 2.11 a
T8	179.88 ± 57.71 ab	33.06 ± 5.82 cd	5.38 ± 1.23 ab
P	0.000 206	2.88*e <sup>-07</sup>	0.074

注:数据为平均值 ± 标准差,同列数据平均值后不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。Note: the data are mean ± standard deviation. Different lowercase letters after the mean value of the data in the same column indicates significant differences among different treatment at  $P < 0.05$  level.

149.33 cm 和 32.45 mm; T6 处理与 CK 相比, 树高和地径增幅分别为 26.95% 和 17.84%。

## 2.2 不同施肥处理对交趾黄檀苗木生物量和苗木质量指数的影响

所有施肥处理的交趾黄檀苗木地上生物量均高于 CK。其中, T6 处理的地上生物量最大, 为 85.80 g, 与 CK 有显著差异, 其次为 T5 处理。不同处理间, 苗木地下生物量显著差异, 平均为 25.98 g。T6 处理的地下生物量最高, 为 33.99 g。不同处理总生物量差异极显著, 总生物量平均为 91.83 g, 较试验开始时总生物量提高了 579.75%, 其中 CK 总生物量最小, 为 70.84 g。施肥处理的植株鲜质量高于 CK, 其中 T5 和 T6 处理与 CK 显著差异, T6 处理植株鲜质量最大, 为 273.30 g, 是 CK 鲜质量的 1.6 倍。不同处理的苗木质量指数间显著差异。试验结果表明, 施肥处理有利于提高苗木的鲜质量、地上生物量和植株总生物量, 其中 T5 和 T6 处理对苗木生物量和鲜质量有着显著的影响效果。

## 2.3 不同施肥处理对交趾黄檀幼林期各器官养分含量的影响

由图 1 可知, 交趾黄檀幼林期各器官的氮含量为 T6 > T4 > T8 > T3 > T5 > T7 > T2 > T1 > CK。交趾黄檀的 3 种植物器官当中, 叶片的氮含量最高, 以 T8 处理为例, 至试验结束时, 其叶片氮含量分别为茎和根的 1.52 倍和 1.55 倍。方差分析表明,

T6 处理的根、茎和叶氮含量显著高于其他处理。

## 2.4 不同施肥处理下交趾黄檀幼林期生物量收获指数和施肥效率

生物量收获指数和施肥效率反映了苗木对外源添加肥料中养分的利用情况<sup>[22]</sup>。由表 4 可知, 不同施肥处理间的生物量收获指数和施肥效率均差异显著。其中, T2 处理的生物量收获指数和施肥效率最高, 分别为 58.16 和 47.60。T7 处理的生物量收获指数和施肥效率最低, 仅为 T1 处理的 37.65%。试验结果表明, 合理的施肥方法能够节约成本, 提高了苗木对肥料的利用效率。

## 2.5 不同施肥处理下交趾黄檀生长和养分各指标综合效益隶属函数分析

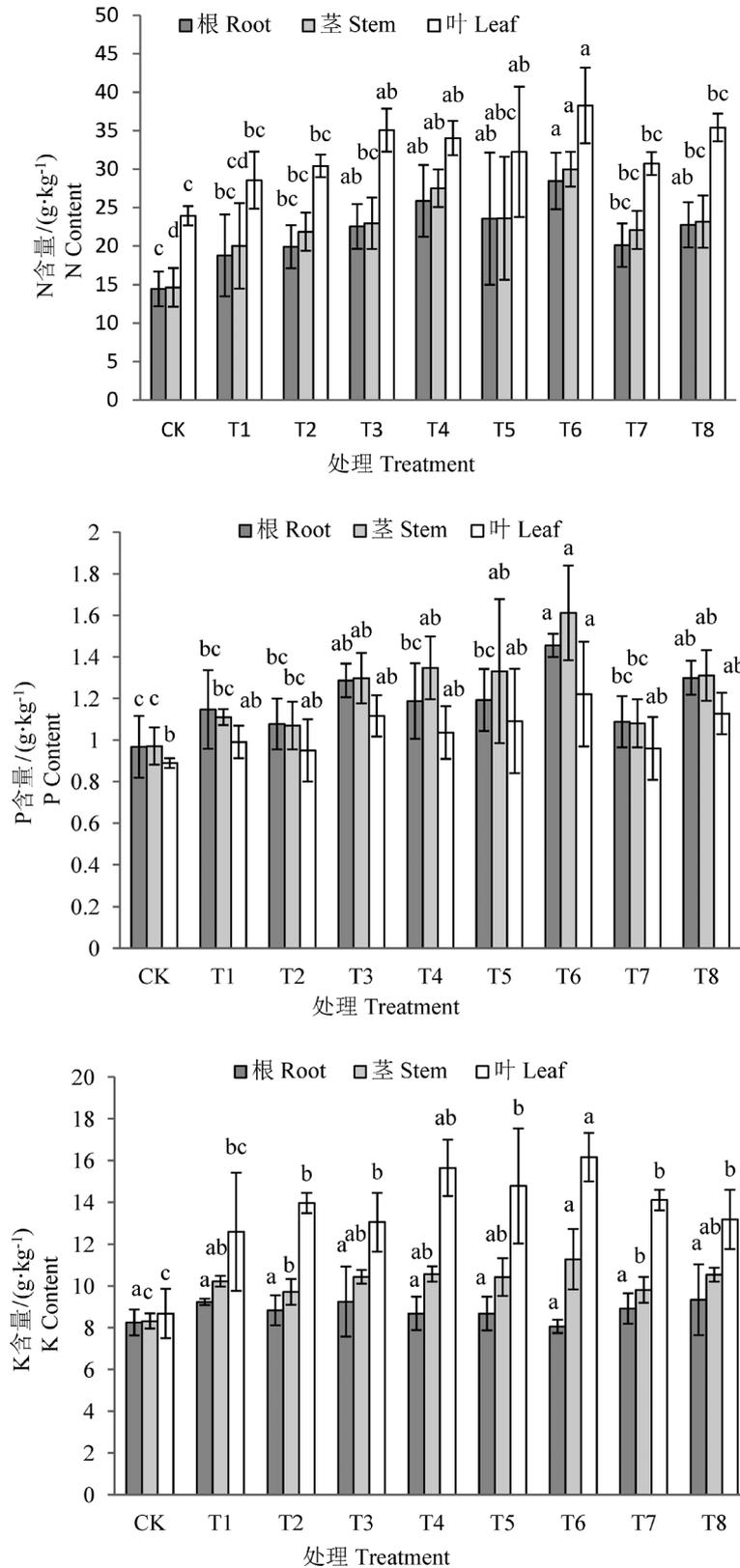
不同施肥处理对交趾黄檀生长和养分各性状影响不同(表 5)。因此, 采用隶属函数分析法, 对交趾黄檀生长和养分的各指标进行隶属函数数值化, 通过隶属函数均值对比, 比较不同施肥方法对植株综合效益评价, 均值越高, 代表效果越好<sup>[23]</sup>。综合评价排名为 T6 > T5 > T4 > T8 > T3 > T7 > T1 > T2 > CK。由表 4 和表 5 可以看出, T1 和 T2 处理的肥料利用率最高, 但苗木生长效果较差, 说明 T1 和 T2 处理提供的营养未达到植株所需的饱和状态。试验结果表明, 所有施肥处理对苗木综合效益都高于 CK。从隶属函数均值可以看出, 施肥总量相同, 但是施肥处理方式不同, 效果也不同。施肥效果隶属均值随施肥总

表 3 不同施肥处理下交趾黄檀生物量、鲜质量和质量指数

Table 3 Biomass, fresh weight and quality index of *D. cochinchinensis* seedlings under different fertilization treatments

处理 Treatment	地上生物量/g Aboveground biomass	地下生物量/g Underground biomass	总生物量/g Total biomass	鲜质量/g Total fresh weight	质量指数 QI
CK	49.13 ± 10.27 c	21.71 ± 2.89b	70.84 ± 11.93d	170.92 ± 31.76c	9.83 ± 1.74c
T1	58.37 ± 30.45 bc	23.81 ± 14.91b	82.18 ± 43.53cd	193.23 ± 103.57c	9.47 ± 5.02c
T2	63.50 ± 9.40 bc	23.74 ± 2.80b	87.24 ± 11.48bcd	201.29 ± 23.98bc	11.28 ± 2.56bc
T3	62.96 ± 12.42 bc	25.08 ± 8.17b	88.05 ± 19.43bcd	206.85 ± 48.80bc	11.66 ± 2.06bc
T4	69.87 ± 16.52 ab	24.58 ± 4.91b	94.45 ± 17.81bc	212.47 ± 29.52bc	11.8 ± 2.20bc
T5	75.05 ± 21.37 ab	32.51 ± 8.97a	107.56 ± 26.21ab	247.85 ± 66.71ab	13.93 ± 4.94ab
T6	85.80 ± 19.82 a	33.99 ± 7.58a	119.78 ± 24.31a	273.30 ± 54.90a	15.10 ± 3.88a
T7	58.52 ± 12.10 bc	23.97 ± 8.18b	82.49 ± 19.21cd	201.29 ± 48.5bc	11.05 ± 2.71bc
T8	69.43 ± 16.84 ab	24.47 ± 5.01b	93.9 ± 18.30bc	212.02 ± 29.68bc	10.86 ± 2.05bc

注: 数据为平均值 ± 标准差, 同列数据平均值后不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。Note: the data are mean ± standard deviation. Different lowercase letters after the mean value of the data in the same column indicates significant differences among different treatment at  $P < 0.05$  level.



注：数据为平均值  $\pm$  标准差，不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。Note: the data are mean  $\pm$  standard deviation. Different lowercase letters indicates significant differences among different treatment at  $P < 0.05$  level.

图 1 不同施肥处理下交趾黄檀各器官养分含量

Fig. 1 Nutrient contents of different organs of *D. cochinchinensis* under different fertilization treatments

表 4 不同施肥处理的交趾黄檀幼龄林期生物量收获指数和施肥效率

g · g<sup>-1</sup>Table 4 Biomass harvest index and fertilization efficiency of young forest for *D. cochinchinensis* under different fertilization treatments

处理 Treatment	生物量收获指数 Biomass harvest index	施肥效率 Fertilization efficiency
CK	—	—
T1	54.79 ± 9.02ab	44.23 ± 9.02ab
T2	58.16 ± 7.65a	47.60 ± 7.65a
T3	44.02 ± 9.72cd	36.10 ± 9.72bc
T4	47.23 ± 8.90bc	39.31 ± 8.90abc
T5	35.85 ± 8.74d	30.57 ± 8.74c
T6	39.93 ± 8.10cd	34.65 ± 8.10bc
T7	20.62 ± 4.80e	16.66 ± 4.80d
T8	23.47 ± 4.58e	19.51 ± 4.58d

注：数据为平均值 ± 标准差，同列数据平均值后不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。Note: the data are mean ± standard deviation. Different lowercase letters after the mean value of the data in the same column indicates significant differences among different treatment at  $P < 0.05$  level.

量的增多而增大，说明施肥方法和施肥量综合影响了土壤中的养分和植株生长。

### 3 结论与讨论

合理的施肥措施能够促进植物生长和生理代谢，增强植物抗性，是早期培育优质林分的重要抚育措施之一<sup>[24]</sup>。李锐聪<sup>[25]</sup>通过N、P、K肥裂区试验设计发现，施肥能够对交趾黄檀幼树的生长均具有较好的促进作用。本研究结果表明，不同施肥方式和施肥量对交趾黄檀幼龄林的地径、树高生长以及生物量积累效果的影响不一致。施肥促进交趾黄檀人工幼林地径生长量提高1.89%~17.84%，树高生长量提高9.45%~26.95%(表1)；施肥分别增加交趾黄檀人工幼林的地上和地下生物量18.73%~74.74%和9.21%~56.22%(表2)，说明施肥能较快地促进交趾黄檀的早期生长。本研究结果与交趾黄檀苗期施肥一致<sup>[26]</sup>，合理的施肥可以最大限度地提高交趾黄檀苗期的养分储备、多糖和脯氨酸含量以及抗氧化能力，而过量施肥会造成苗木毒害，反而不利于生长。合理的施肥是促进交趾黄檀生长、提高产量和质量，培育交趾黄檀速生丰产林过程中必不可少的基础技术措施。

植物不同组织的养分浓度即能反映林分植株的个体营养状况，又能反映立地土壤中的营养变化及其养分供应状况<sup>[27]</sup>。通过合理施肥使林木

体内营养元素浓度保持适当水平与比例才能达到速生高产的目的，同时也是人工林管理的重要依据<sup>[28]</sup>。氮磷钾配方施肥后，各施肥处理的刨花润楠叶片N、P、K含量和N:P比值明显提高，不同施肥处理下的元素含量和N:P比有所不同<sup>[29]</sup>。不同施肥处理间交趾黄檀不同组织对养分的吸收和积累不同，养分在植物体内的浓度也不一致：叶中N、P、K的浓度均大于茎和根部位(图1)。本研究与以往研究结果相似，表明叶片对土壤养分的供应非常敏感，叶片中养分含量可以反映土壤养分的有效性及其供应水平，但不同叶龄叶片中养分含量有着较大差异<sup>[30]</sup>。

对交趾黄檀幼林进行不同方式施肥处理，利用施肥对生长和养分含量进行综合隶属函数值法进行评定施肥效果，试验结果表明，施肥处理比不施肥对容器基质养分和苗木效果要好，施肥方法不同，施肥效果具有一定的差别。本研究中，通过基肥2 kg，每隔3个月追肥0.25 kg，总计添加3.0 kg复合肥对交趾黄檀幼林的生长和养分分配综合效益影响最好，可作为交趾黄檀幼林期用肥参考。

本研究中，由于试验条件和时间的限制，仅对一年生交趾黄檀的生长情况和养分变化进行了分析比较，并未开展施肥处理对交趾黄檀生理变化和土壤养分含量等方面的影响。今后，应在不同的立地条件上进行施肥试验，同时开展试验周

表 5 不同施肥处理下交趾黄檀苗木和养分各指标综合效益隶属函数分析

Table 5 Membership function analysis of comprehensive benefits of seedling and nutrient indexes of *D. cochinchinensis* under different fertilization treatments

性状 Traits CK	处理 Treatment								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	
树高 Tree height	0	0.50	0.35	0.73	0.71	0.92	1	0.75	0.76
地径 Ground diameter	0	0.44	0.38	0.47	0.45	0.78	1	0.18	0.11
地上生物量 Aboveground biomass	0	0.25	0.39	0.38	0.57	0.71	1	0.26	0.55
地下生物量 Underground biomass	0	0.17	0.17	0.27	0.23	0.88	1	0.18	0.22
总生物量 Total biomass	0	0.23	0.34	0.35	0.48	0.75	1	0.24	0.47
鲜质量 The quality of fresh	0	0.22	0.30	0.35	0.41	0.75	1	0.30	0.40
根 N	0	0.31	0.39	0.58	0.82	0.65	1	0.40	0.59
茎 N	0	0.35	0.47	0.54	0.84	0.58	1	0.49	0.56
叶 N	0	0.32	0.45	0.78	0.70	0.58	1	0.47	0.80
根 P	0	0.37	0.22	0.65	0.45	0.46	1	0.25	0.68
茎 P	0	0.22	0.15	0.51	0.59	0.56	1	0.17	0.53
叶 P	0	0.31	0.18	0.68	0.44	0.61	1	0.21	0.72
根 K	0.15	0.92	0.60	0.93	0.49	0.48	0	0.67	1.00
茎 K	0	0.65	0.47	0.72	0.76	0.71	1	0.51	0.75
叶 K	0	0.52	0.71	0.58	0.93	0.82	1	0.73	0.60
隶属均值 Belonging to the mean	0.01	0.39	0.37	0.57	0.59	0.68	0.93	0.39	0.58
排名 Rank	9	6	8	5	3	2	1	6	4

期更长的跟踪调查,以获得更精确的试验结果,更进一步准确地指导交趾黄檀早期苗木培育。

### 参考文献

- [1] 国家质量技术监督局. 红木: GB/T 18107-2017[S]. 北京: 国家标准出版社, 2017.
- [2] 吴培衍, 张荣标, 张金文. 红木树种新贵: 交趾黄檀[J]. 福建热作科技, 2016, 41(4): 51-54.
- [3] 黄广华, 金浩, 陈瑞英, 等. 交趾黄檀和奥氏黄檀木材解剖构造比较[J]. 西北林学院学报, 2020, 35(6): 234-239, 318.
- [4] 刘福妹, 韦菊玲, 庞圣江, 等. 不同种源和家系交趾黄檀种子活力及其在广西凭祥的引种表现[J]. 南方农业学报, 2019, 50(1): 110-117.
- [5] 洪舟, 吴培衍, 张金文, 等. 漳州地区交趾黄檀幼龄期生长表现及适应性分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2020, 44(6): 122-128.
- [6] 朱先成, 张劲松, 龚江红, 等. 交趾黄檀在西双版纳的引种生长表现及发展前景展望[J]. 林业调规划, 2019, 44(3): 148-151.
- [7] 何书奋, 林国维, 刘俊, 等. 不同家系交趾黄檀在三亚地区早期生长表现[J]. 热带林业, 2018, 46(3): 32-34.
- [8] 李科, 洪舟, 杨曾奖, 等. 不同种源交趾黄檀种子形态及多点发芽率的差异[J]. 浙江农林大学学报, 2018, 35(1): 121-127.
- [9] 麦宝莹, 洪舟, 徐大平, 等. 交趾黄檀种源苗期生长性状地理变异和遗传稳定性分析[J]. 南京林业大学学报(自

- 然科学版), 2019, 43(2): 172-178.
- [10] 吴艺东, 洪舟, 吴培衍, 等. 交趾黄檀嫁接苗培育技术[J]. 林业科技通讯, 2019(6): 64-65.
- [11] 刘福妹. 基于SSR标记的3个黄檀属珍贵红木用材树种遗传多样性研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2019.
- [12] 洪舟, 张宁南, 杨曾奖, 等. 供氮方式和水平对交趾黄檀幼苗生长和生理的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2020, 40(7): 18-24.
- [13] 王爱斌, 宋慧芳, 张流洋, 等. 生物肥和菌肥对蓝莓苗生长及土壤养分的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2020, 44(6): 67-74.
- [14] 张悦. 肥料应用中存在的问题及建议[J]. 肥料与健康, 2020, 47(6): 10-15.
- [15] 陈帅. 冀中不同种植体系氮素排放特征及影响因素研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2020.
- [16] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [17] 刘婷岩, 郝龙飞, 王庆成, 等. 不同栽植密度对斑叶稠李苗木培育质量的影响[J]. 植物研究, 2019, 39(6): 65-70.
- [18] 王力朋, 李吉跃, 王军辉, 等. 指数施肥对楸树无性系幼苗生长和氮素吸收利用效率的影响[J]. 北京林业大学学报, 2012, 34(6): 55-62.
- [19] 秦雨薇, 万福绪. 施肥对10个墨西哥柏种源幼苗生长的影响[J]. 林业工程学报, 2012, 26(5): 115-119.
- [20] 林元震. R与ASReml-R统计分析教程[M]. 北京: 中国林业出版社, 2014.
- [21] 洪舟, 张宁南, 杨曾奖, 等. 低温胁迫对不同产地降香黄檀幼苗生理特征影响[J]. 西北林学院学报, 2020, 35(3): 29-35.
- [22] 陈闻, 王晶, 叶正钱, 等. 施肥对普陀樟苗木生长及养分吸收利用的影响[J]. 浙江农林大学学报, 2014, 31(3): 358-365.
- [23] 廖曦. 施肥对红锥幼林生长、生理特性及林地土壤的影响[D]. 南宁: 广西大学, 2019.
- [24] 袁勇. 森林抚育技术的重点及保障措施[J]. 现代农业科技, 2020(21): 214.
- [25] 李瑞聪. 交趾黄檀幼树施肥的生长效应[J]. 福建热作科技, 2018, 43(2): 22-25.
- [26] ZHOU H, JUNYU G, NINGNAN Z, et al. Polysaccharide, proline, and anti-oxidation enzyme activities of Thailand rosewood (*Dalbergia cochinchinensis*) seedlings exposed to exponential fertilization[J]. Journal of Forestry Research, 2021, 33: 75-87.
- [27] 方海波, 田大伦, 康文星. 杉木人工林间伐后林下植被养分动态的研究 II. 土壤营养元素含量的变化与植物的富集系数[J]. 中南林学院学报, 1998(3): 1-5.
- [28] 李贻铨, 杨承栋. 中国林木施肥与营养诊断研究现状[J]. 世界林业研究, 1998, 11(3): 58-65.
- [29] 李桃祯. 氮磷钾配方施肥对刨花润楠幼林生长生理和土壤性质的影响研究[D]. 南宁: 广西大学, 2017.
- [30] HINESLEY L E, PHARR D M, SNELLING L K, et al. Foliar raffinose and sucrose in four conifer species: Relationship to seasonal temperature[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science American Society for Horticultural Science, 1992, 117(5): 852-855.