

N 素指数施肥对格木、降香黄檀苗期生长的影响^{*}

温小莹 黄芳芳 甘先华 张卫强
黄钰辉 许秀玉 郭乐东 周 毅

(广东省森林培育与保护利用重点实验室 / 广东省林业科学研究院, 广东 广州 510520)

摘要 用氮素指数施肥法对格木 (*Erythrophleum fordii*)、降香黄檀 (*Dalbergia odorifera*) 幼苗进行不同施氮量处理, 结果表明, 随着施氮量的增大, 格木幼苗的苗高、地径以及根、茎、叶生物量和总生物量总体均呈先增后降的趋势; 降香黄檀幼苗的苗高、茎生物量呈先增后降的趋势, 地径及根、叶生物量和总生物量总体呈上升的趋势。根冠比随施氮量的增加而降低。综合分析苗高、地径和生物量 3 个性状, 确定格木、降香黄檀苗期的最佳总施 N 量分别是 1 000、5 000 mg/株。

关键词 格木; 降香黄檀; 指数施肥; 苗期; 生长量

中图分类号: S723.7 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2018) 06-0001-07

N Exponential Fertilization on Seedling Growth of *Erythrophleum fordii* and *Dalbergia odorifera*

WEN Xiaoying HUANG Fangfang GAN Xianhua ZHANG Weiqiang
HUANG Yuhui XU Xiuyu GUO Ledong ZHOU Yi

(Guangdong Provincial Key Laboratory of Silviculture, Protection and Utilization / Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou, Guangdong 510520, China)

Abstract We grew seedlings of *Erythrophleum fordii* and *Dalbergia odorifera* under different nitrogen treatments using N exponential fertilization. Results showed that the seedling height, ground diameter, biomass of root, shoot and leaf, and total biomass of *E. fordii* all changed in a hump-shaped pattern along the nitrogen addition concentration. In contrast, the seedling height, shoot biomass of *D. odorifera* changed in hump-shaped pattern, with ground diameter, biomass of root and leaf, and total biomass increased along nitrogen treatment. Root-shoot ratio of both species decreased along nitrogen treatment. Combining the results of seedling height, ground diameter and biomass, we suggested that the optimal nitrogen concentrations promoting seedling growth were 1 000 and 5 000 mg for *E. fordii* and *D. odorifera*, respectively.

Key words *Erythrophleum fordii*; *Dalbergia odorifera*; N exponential fertilization; seedling stage; growth

指数施肥是基于“稳态养分”(Steady-status nutrient)理论, 通过指数递增的养分添加方式适应植物在各生长阶段的相对生长率的施肥方法^[1]。N

素是植物体内分布最广的营养元素之一, 是构成各种重要有机化合物(如氨基酸、蛋白质、核酸等)不可缺少的组成成分^[2]。选择合理的施肥方

^{*} 基金项目: 广东省林业科技创新专项项目(2015KJCX029 及 2017KJCX011), 林业科技创新平台运行补助项目(2017-LYPT-DW-066 及 2017-LYPT-DW-068)。

第一作者: 温小莹(1964—), 女, 高级工程师, 主要从事森林培育及森林生态研究, E-mail: wenxyi@yeah.net。

通信作者: 黄芳芳(1987—), 女, 助理研究员, 主要从事森林生态学研究, E-mail: hff120876158@hotmail.com。

法,对提高苗木 N 素利用效率、产量、品质及保护生态环境非常重要^[3]。大量研究结果表明,指数施肥方法既可以有效提高苗木体内养分含量以增强自身竞争力,进而适应造林地的立地条件,也可节省肥料,避免由于大量养分施入而造成的养分毒害^[4-6]。目前,指数施肥已成为国外苗木培育中的首选施肥技术,已有 8 个国家的 30 余种植物,如红栎 (*Quercus rubra*)、刺叶栎 (*Q. ilex*)、黑云杉 (*Picea mariana*)、扭叶松 (*Pinus monticola*)、脂松 (*P. resinosa*)、异叶铁杉 (*Tsuga heterophylla*) 等^[1,7-8] 容器苗的培育均应用此技术。在我国林业研究方面也取得一些成果^[1-3,7-8]。

格木 (*Erythrophleum fordii*) 是苏木科 (Caesalpiniaceae) 格木属 (*Erythrophleum*) 的常绿乔木,树高可达 30 m,胸径 1 m,分布于广西、广东、福建、浙江和台湾等地,北纬 24°以南,海南有栽培,越南有分布。较喜光,幼时耐荫;喜温暖湿润气候,不耐寒(极端最低温 -3℃左右)。是珍贵特殊用材树种,木材是高级家具、地板、建筑、雕刻、造船、车辆、机械工业的特好用材。树冠浓荫苍翠,为优良观赏树^[9]。是渐危种^[10],国家 II 级保护植物^[11]。

降香黄檀 (*Dalbergia odorifera*) 是蝶形花科 (Papilionaceae) 黄檀属 (*Dalbergia*) 的半落叶乔木,树高 15~20 m,最大胸径超过 60 cm,为海南省最名贵的特有树种之一,是海南特类商品材。耐干旱、高温,栽培容易、生长较快,为海南省主要造林树种之一。木材质优,坚重,纹理致密,为上等家具良材;有香味,可作香料;根部心材名降香,供药用^[9]。是濒危种^[10],国家 II 级保护植物^[11]。

国内对格木的生长规律、群落特征、木材材性等方面进行了较多研究^[12-17],在降香黄檀引种栽培技术、混交模式、基质配方、氮磷钾配比施肥等方面的研究也不乏报道^[18-22],但格木、降香黄檀指数施肥的研究未见报道,本项目对这 2 个珍贵树种进行不同浓度的指数施肥试验,旨在探究指数施肥对 2 树种幼苗的生长影响,为其合理施肥及制定栽培集约管理措施提供科学理论依据。

1 试验地概况

试验地设在广东省林业科学研究院(广州)中心苗圃内,位于 E113°23'、N23°14',海拔 25 m。年平均温度 23℃;最冷月份为 1 月,平均

气温 13℃;最热月份为 8 月,平均气温 28.7℃;极端最高温 38℃,最低温 -0.6℃;年降水量 1 638 mm,4—9 月份的降水量占全年降水量的 80%,年平均湿度 79%,典型亚热带季风气候。

2 材料与方法

2.1 试验材料

供试材料取自广东省林业科学研究院苗圃,分别选取生长稳定的 1 a 生格木、降香黄檀播种苗,2015 年 10 月上旬植苗于塑料盆(底径 × 上口口径 × 高:17 cm × 22 cm × 17 cm)中,每盆栽植 1 株。为防止水肥流失,盆苗均用直径 21 cm 的白色塑料盘盛放。

2.2 研究方法

2.2.1 试验设计 本试验采用指数施肥方法,施肥量计算公式为:

$$NT = N_s (e^r - 1) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$N_t = N_s (e^r - 1) - N_{t-1} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式(1)和(2)中,NT 为总的施 N 量, N_s 为施肥处理前植株体内的初始含 N 量, r 为营养物相对添加率, t 为施肥的总次数, N_t 为第 t 次施 N 量, N_{t-1} 为前 $t-1$ 次累积的施 N 量^[23]。

试验共设 5 个指数施肥处理(设置试验周期内每株总施 N 量 1 000、2 000、3 000、4 000、5 000 mg 5 个处理,编号为①~⑤)和 1 个不施肥处理(编号为 0),每个处理 12 株苗木,每次具体施肥量见表 1。采用以色列化工集团的“优乐卉”水溶性肥料追肥(N : P_2O_5 : K_2O = 1 : 1 : 1, N 素含量 20%),2016 年 3 月 29 日第 1 次施肥,每 7 d 施肥 1 次,8 月 8 日最后 1 次施肥,施肥总次数为 20 次($t = 20$)。试验中采用水溶施用的方法进行,每株苗木每次施用 50 mL。

2.2.2 指标的测定 测量格木、降香黄檀所有试验苗木的苗高、地径、冠幅,均于每次施肥前 1 d 进行测量,第 1 次测量是 2016 年 3 月 28 日,之后隔 15 d 测量 1 次,8 月 15 日最后 1 次测量,苗高增量、地径增量分别是试验结束后(即最后 1 次)与试验前(即第 1 次)测量的苗高、地径之差。2016 年 6 月 17 日(试验中段)、8 月 28 日(试验结束)每处理随机选取 6 株苗,把苗木分根、径、叶进行破坏性取样,放入 70℃烘箱内连续烘 48 h 至恒质量,测得根、径、叶生物量。地

表 1 格木与降香黄檀苗期指数施肥量
Table 1 Fertilization schedule for *Erythrophleum fordii* and *Dalbergia odorifera*

树种 Species	施肥处理 编号 Treatment No.	总 N 量 /mg Total N amount	周 Week																			
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
格木 <i>E. fordii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	①	1 000	97.43	106.23	115.81	126.27	137.67	150.10	163.65	178.42	194.53	212.09	231.24	252.11	274.87	299.69	326.74	356.24	388.40	423.46	461.69	503.37
	②	2 000	133.28	149.73	168.23	189.00	212.34	238.56	268.02	301.12	338.31	380.08	427.02	479.75	539.00	605.56	680.34	764.36	858.75	964.80	1 083.94	1 217.80
	③	3 000	156.07	178.64	204.47	234.04	267.88	306.62	350.96	401.71	459.81	526.30	602.41	689.52	789.23	903.36	1 033.99	1 183.52	1 354.67	1 550.57	1 774.79	2 031.45
	④	4 000	172.91	200.61	232.75	270.03	313.30	363.49	421.73	489.29	567.68	658.63	764.15	886.57	1 028.61	1 193.41	1 384.60	1 606.43	1 863.80	2 162.40	2 508.84	2 910.78
	⑤	5 000	186.30	218.46	256.18	300.40	352.25	413.06	484.36	567.98	666.02	781.00	915.82	1 073.91	1 259.29	1 476.67	1 731.58	2 030.5	2 381.01	2 792.03	3 274.00	3 839.17
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
降香黄檀 <i>D. odorifera</i>	①	1 000	103.66	112.44	121.97	132.30	143.51	155.68	168.87	183.18	198.70	215.54	233.8	253.61	275.10	298.42	323.70	351.13	380.89	413.16	448.18	486.15
	②	2 000	143.36	160.16	178.94	199.91	223.33	249.51	278.75	311.42	347.92	388.69	434.25	485.14	542.00	605.52	676.48	755.77	844.34	943.30	1 053.85	1 177.36
	③	3 000	168.77	192.06	218.56	248.71	283.03	322.08	366.51	417.08	474.63	540.11	614.63	699.43	795.93	905.75	1 030.71	1 172.92	1 334.75	1 518.91	1 728.47	1 966.95
	④	4 000	187.60	216.37	249.55	287.82	331.96	382.87	441.59	509.31	587.42	677.50	781.40	901.24	1 039.45	1 198.86	1 382.72	1 594.78	1 839.35	2 121.43	2 446.77	2 822.01
	⑤	5 000	202.60	236.16	275.27	320.86	374.00	435.95	508.15	592.31	690.41	804.76	938.05	1 093.41	1 274.51	1 485.59	1 731.65	2 018.45	2 352.75	2 742.42	3 196.64	3 726.08

上生物量 = 径生物量 + 叶生物量, 总生物量 = 地上生物量 + 根生物量, 根冠比 = 根生物量 / 地上生物量。

2.2.3 数据处理 采用统计软件 SAS 9.0 的 ANOVA 过程^[24]作单因素方差分析和 LSD 多重比较。

3 结果与分析

3.1 N 素指数施肥处理对苗木苗高、地径的影响

不同 N 素指数施肥处理的格木苗高和地径差异均不显著 ($P > 0.05$, 表 2)。随着施肥量增加, 两指标总体上均呈现先升后降的趋势, 整个过程苗高有 3 次起伏, 地径有 2 次起伏。其中, 处理①苗高表现为最佳状态, 处理②地径表现为最佳状态, 分别是最小值处理 0 的 2.32 和 1.57 倍。格木苗期苗高、地径受 N 素影响的大小顺序为: 苗高 > 地径。不同 N 素供应水平下降香黄檀苗期苗高存在着极显著差异 ($P < 0.01$, 表 2), 地径存在显著差异 ($0.01 < P < 0.05$, 表 2)。随着施肥量增加, 苗高总体上呈现先升后降的趋势, 整个过程有 2 次起伏, 地径总体上呈现上升的趋势, 整个过程有 2 次起伏。其中, 处理④苗高表现为最佳状态, 处理⑤地径表现为最佳状态, 分别是最小值处理 0 的 1.81 和 2.09 倍。降香黄檀苗期苗高、地径受 N 素影响的大小顺序为: 苗高 > 地径。

从表 2 看出, 格木苗高相比地径多 1 次起伏, 这可能是因为 2016 年 4 月中下旬, 部分格木试验苗受蛀梢蛾的危害, 致顶梢干枯从而使苗高数值波动较大。

3.2 N 素指数施肥处理对苗木生物量分配的影响

不同 N 素指数施肥处理的格木苗期根、径、叶生物量和总生物量差异均不显著 ($P > 0.05$, 表 3), 随施 N 量的增加均呈先增后降的趋势, 整个过程根生物量有 2 次起伏, 其他 3 指标均没起伏, 均在处理①时取得最大值, 分别是最小值处理 0 的 1.57、1.57、2.32 和 1.74 倍。格木苗期根、径、叶生物量受 N 素影响的大小顺序为: 叶生物量 > 根生物量 > 径生物量。不同 N 素供应水平下降香黄檀苗期根生物量差异不显著 ($P > 0.05$, 表 3), 随施 N 量的增加呈上升的趋势, 整个过程根生物量有 2 次起伏, 在处理⑤时取得最大值, 是最小值处理 0 的 1.46 倍; 径、叶生物量和总生物量均存在着极显著差异 ($P < 0.01$, 表 3), 随施 N 量的增加径生物量呈现先升后降的趋势, 在处理④取得最大值, 是最小值处理 0 的 2.23 倍, 叶生物量和总生物量呈现上升的趋势, 均在处理⑤取得最大值, 是最小值处理 0 的 1.89、1.94 倍。降香黄檀苗期根、径、叶生物量受 N 素影响的大小顺序为: 径生物量 > 叶生物量 > 根生物量。由表 3 可以看出, 同一处理的生物量比例存在明显规律,

表 2 不同浓度指数施肥对格木与降香黄檀苗高、地径的影响

Table 2 The effects of exponential fertilization treatmenets on the seedling height and ground diameter of *E. fordii* and *D. odorifera*

树种 Species	处理 Treatment	苗高增量 /cm Increase in seedling height	地径增量 /cm Increase in ground diameter
格木 <i>E. fordii</i>	0 (N0)	5.92 ± 2.87 a	0.23 ± 0.03 a
	① (N1 000)	13.73 ± 2.00 a	0.33 ± 0.06 a
	② (N2 000)	11.48 ± 4.69 a	0.36 ± 0.09 a
	③ (N3 000)	12.72 ± 1.97 a	0.28 ± 0.03 a
	④ (N4 000)	6.10 ± 2.29 a	0.32 ± 0.06 a
	⑤ (N5 000)	10.87 ± 2.33 a	0.24 ± 0.07 a
降香黄檀 <i>D. odorifera</i>	0 (N0)	60.42 ± 5.77 c	0.22 ± 0.05 c
	① (N1 000)	91.67 ± 6.07 ab	0.29 ± 0.05 bc
	② (N2 000)	89.50 ± 8.80 ab	0.29 ± 0.04 bc
	③ (N3 000)	85.75 ± 9.68 b	0.38 ± 0.03 ab
	④ (N4 000)	109.12 ± 3.96 a	0.35 ± 0.05 abc
	⑤ (N5 000)	89.95 ± 5.52 ab	0.46 ± 0.06 a

注: 表中字母为 LSD 多重比较结果, 不同字母表示差异显著 $P < 0.05$ 。
Note: Letters represent the results of LSD comparisons. Different letters denote significant differences at $P < 0.05$.

径生物量明显大于叶生物量,地上生物量明显大于地下生物量;适量施 N (1 000 mg/株)明显促进了格木苗期根、径、叶生物量和总生物量的积累,而 N 素缺乏或过量都不利于生物量的积累;随着 N 素的不断施入,降香黄檀苗期根、叶生物量和总生物量一直呈现上升的趋势,只有径生物量在处理④出现了拐点。

3.3 N 素指数施肥处理对苗木根冠比的影响

植物的根冠比很大程度上影响着植物个体的生态型和对光能资源的捕获策略,它能较好地反映苗木地下部分和地上部分的平衡,以及苗木对水分和营养物质的吸收及平衡作用,是生物量分配分析中的一项主要的研究指标。根冠比值高,表明植物对土壤水分和营养物质具有比较强的竞争能力,能够生活在比较贫瘠恶劣的环境中;反之,则表明植物能够利用较多的日光能,具有较高的生产能力^[25]。试验中段(2016年6月)、试验结束(2016年8月)格木、降香黄檀各处理的根冠比如表4。6月格木的根冠比差异不显著($P > 0.05$,表4),随施 N 量的增加根冠比逐渐减少,对照处理 0 取得最大值,是最小值处理⑤的 1.36 倍;8月格木的根冠比差异显著($0.01 < P < 0.05$,表4),整体趋势是随施 N 量的增加根冠比逐渐减少,全程有 2 次起伏,对照处理 0 取得最大值,是最小值处理③的 1.71 倍。从 6 月、8 月

格木根冠比的变化情况分析,受 N 素影响的大小顺序为:8 月根冠比 $>$ 6 月根冠比。6 月、8 月降香黄檀的根冠比差异均极显著($P < 0.01$,表4),整体趋势是随施 N 量的增加根冠比逐渐减少。6 月根冠比全程有 2 次起伏,对照处理 0 取得最大值,是最小值处理⑤的 1.87 倍;8 月降香黄檀的根冠比全程有 3 次起伏,对照处理 0 取得最大值,是最小值处理④的 1.73 倍。从 6 月、8 月降香黄檀根冠比的变化情况分析,受 N 素影响的大小顺序为:6 月根冠比 $>$ 8 月根冠比。

4 结论与讨论

4.1 不同浓度 N 素指数施肥处理的格木苗期苗高、地径差异均不显著,随施 N 量的增加均呈先增后降的趋势,受 N 素影响的大小顺序为:苗高 $>$ 地径。不同 N 素供应水平下降香黄檀苗期苗高存在着极显著差异、地径存在显著差异,随着施肥量不断增加,苗高呈现先升后降的趋势,地径呈现上升的趋势,受 N 素影响的大小顺序为:苗高 $>$ 地径。

4.2 不同浓度 N 素指数施肥处理下的格木苗期根、径、叶生物量和总生物量差异均不显著,随施 N 量的增加均呈先增后降的趋势,前 3 个生长指标受 N 素影响的大小顺序为:叶生物量 $>$ 根生物量 $>$ 径生物量。不同 N 素供应水平下降香黄檀

表 3 不同浓度指数施肥对格木与降香黄檀生物量分配的影响

Table 3 The effects of exponential fertilization treatment on the biomass distribution of *E. fordii* and *D. odorifera*

树种 Species	处理 Treatment	生物量 /g Biomass				占生物总量的比例 /% Proportion		
		根 Root	茎 Shoot	叶 Leaf	总量 Total	根 Root	茎 Shoot	叶 Leaf
格木 <i>E. fordii</i>	0 (N0)	9.35 ± 1.59 ab	28.77 ± 6.26 a	11.03 ± 2.52 b	49.15 ± 9.70 b	19.02	58.54	22.44
	① (N1 000)	14.70 ± 2.89 a	45.18 ± 5.36 a	25.56 ± 4.06 a	85.43 ± 11.38 a	17.21	52.89	29.92
	② (N2 000)	10.09 ± 2.57 ab	40.76 ± 8.73 a	20.36 ± 3.37 ab	71.20 ± 14.54 ab	14.17	57.16	28.60
	③ (N3 000)	8.39 ± 1.00 b	39.12 ± 4.29 a	19.62 ± 3.09 ab	67.12 ± 8.21 ab	12.50	58.28	29.23
	④ (N4 000)	10.31 ± 2.06 ab	38.53 ± 8.44 a	17.89 ± 3.99 ab	66.72 ± 13.80 ab	15.45	57.75	26.81
	⑤ (N5 000)	7.60 ± 1.84 b	29.29 ± 6.63 a	13.69 ± 6.31 b	50.58 ± 14.58 ab	15.03	57.91	27.07
降香黄檀 <i>D. odorifera</i>	0 (N0)	25.20 ± 2.14 b	43.53 ± 1.29 d	22.02 ± 1.51 d	90.06 ± 5.15 d	27.98	48.33	24.45
	① (N1 000)	25.39 ± 1.54 b	61.70 ± 4.01 cd	29.31 ± 3.33 cd	116.39 ± 7.12 cd	21.81	53.01	25.18
	② (N2 000)	26.78 ± 4.24 b	77.35 ± 4.35 bc	31.70 ± 1.85 bc	135.83 ± 8.55 bc	19.72	56.95	23.34
	③ (N3 000)	32.33 ± 4.50 ab	89.97 ± 11.84 ab	39.39 ± 5.54 ab	161.69 ± 20.44 ab	20.00	55.64	24.36
	④ (N4 000)	30.01 ± 2.09 ab	97.03 ± 6.06 a	41.13 ± 2.10 a	168.17 ± 7.38 a	17.85	57.70	24.46
	⑤ (N5 000)	36.83 ± 4.62 a	95.99 ± 5.42 a	41.58 ± 1.76 a	174.39 ± 9.68 a	21.12	55.04	23.84

注:表中字母为 LSD 多重比较结果,不同字母表示差异显著 $P < 0.05$ 。

Note: Letters represent the results of LSD comparisons. Different letters denote significant differences at $P < 0.05$.

表 4 不同浓度指数施肥对格木与降香黄檀根冠比的影响

Table 4 The effects of exponential fertilization treatmenets on the root–shoot ratio of *E. fordii* and *D. odorifera*

树种 Species	处理 Treatment	试验中段（6 月） Middle (June)	试验结束（8 月） End (August)
格木 <i>E. fordii</i>	0（N0）	0.19 ± 0.02 a	0.24 ± 0.02 a
	①（N1 000）	0.18 ± 0.01 ab	0.21 ± 0.03 ab
	②（N2 000）	0.16 ± 0.02 abc	0.16 ± 0.02 bc
	③（N3 000）	0.16 ± 0.01 bc	0.14 ± 0.01 c
	④（N4 000）	0.16 ± 0.01 abc	0.18 ± 0.02 bc
	⑤（N5 000）	0.14 ± 0.01 c	0.19 ± 0.02 abc
降香黄檀 <i>D. odorifera</i>	0（N0）	0.43 ± 0.04 a	0.38 ± 0.02 a
	①（N1 000）	0.36 ± 0.04 ab	0.29 ± 0.03 b
	②（N2 000）	0.24 ± 0.02 c	0.24 ± 0.04 b
	③（N3 000）	0.31 ± 0.03 bc	0.25 ± 0.03 b
	④（N4 000）	0.26 ± 0.02 c	0.22 ± 0.02 b
	⑤（N5 000）	0.23 ± 0.02 c	0.26 ± 0.02 b

注：表中字母为 LSD 多重比较结果，不同字母表示差异显著 $P < 0.05$ 。
Note: Letters represent the results of LSD comparisons. Different letters denote significant differences at $P < 0.05$.

苗期根生物量差异不显著，随施 N 量的增加呈上升的趋势，径、叶生物量和总生物量均存在着极显著差异，随施 N 量的增加径生物量呈现先升后降的趋势，叶生物量和总生物量呈现上升的趋势，前 3 个生长指标受 N 素影响的大小顺序为：径生物量>叶生物量>根生物量。同一处理的生物量比例存在明显规律，径生物量明显大于叶生物量，地上生物量明显大于地下生物量。

4.3 格木 6 月的根冠比差异不显著，8 月的根冠比差异显著，均随施 N 量的增加根冠比逐渐减少，从 6 月、8 月格木根冠比的变化情况分析，受 N 素影响的大小顺序为：8 月根冠比>6 月根冠比。6 月、8 月降香黄檀的根冠比差异均极显著，整体趋势均是随施 N 量的增加根冠比逐渐减少，从 6 月、8 月降香黄檀根冠比的变化情况分析，受 N 素影响的大小顺序为：6 月根冠比>8 月根冠比。

4.4 本试验中，格木苗期的苗高、地径、总生物量差异均不显著，而降香黄檀苗期的苗高、地径、总生物量差异均显著或极显著。这可能是因为在全光下，以常规苗木（高度在 0.3~0.5 m）新造的格木纯林，其前 3 年的生长极缓慢^[12]，而沙质壤土上生长的降香黄檀人工林生长较为迅速^[26]，因而出现上述截然不同的结论。

4.5 氮素供应影响着植物对碳同化物质的分配格

局^[27]。氮素缺乏时，植物会加大根系生物量的分配比例，以提高根系的氮素吸收能力^[28]，适量增加氮素供应，能够促进植物根、茎、叶的生长，但往往对茎叶生长的促进作用大于根系，导致随施氮量的增加根冠比降低，当氮素过量时，则会抑制植物的生长^[29]。本研究的结论与前人的研究结论^[27-29]一致。

4.6 综合分析苗高、地径和总生物量 3 个性状可知，格木、降香黄檀苗期总的最佳施 N 量分别是 1 000、5 000 mg/株，本研究为实现格木及降香黄檀高产、优质和高效育苗提供了参考依据。

参考文献

[1] 魏红旭, 徐程扬, 马履一, 等. 苗木指数施肥技术研究进展[J]. 林业科学, 2010, 46(7): 140-146.

[2] 丁晓纲, 刘喻娟, 张晓珊, 等. 不同浓度指数施肥对美丽异木棉等3个树种幼苗生长的影响[J]. 生态环境学报, 2013(4): 619-624.

[3] 王冉, 何茜, 丁晓纲, 等. N素指数施肥对沉香苗期光合生理特性的影响[J]. 北京林业大学学报, 2011, 33(6): 58-64.

[4] BURGESS D. Western hemlock and Douglas-fir seedling development with exponential rates of nutrient addi-

- tion.[J]. Forest Science, 1991, 37(37): 54-67.
- [5] QUORESHI A M, TIMMER V R. Early outplanting performance of nutrient-loaded containerized black spruce seedlings inoculated with *Laccaria bicolor*: a bioassay study [J]. Revue Canadienne De Recherche Forestière, 2000, 30(30): 744-752.
- [6] KASTEN DUMROESE R, DEBORAH S Page-Dumroese, K Francis Salifu and Douglass F Jacobs. Exponential fertilization of *Pinus monticola* seedlings: nutrient uptake efficiency, leaching fractions, and early outplanting performance[J]. Canadian Journal of Forest Research, 2005, 35(12): 2961-2967.
- [7] 李玲莉, 李吉跃, 张方秋, 等. 容器苗指数施肥研究综述[J]. 世界林业研究, 2010, 23(2): 22-27.
- [8] 李国雷, 祝燕, 蒋乐, 等. 指数施肥对栓皮栎容器苗生长和氮积累的影响[J]. 东北林业大学学报, 2012, 40(11): 6-9.
- [9] 广东省林业局, 广东省林学会. 广东省商品林100种优良树种栽培技术[M]. 广州: 广东科技出版社, 2003: 242-253.
- [10] 国家环保局, 中国科学院植物所. 中国珍稀濒危保护植物名录(第一册)[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 39.
- [11] 国家林业局和农业部. 国家重点保护野生植物名录(第一批) [M]. 北京: 国家林业局办公室, 1999: 8.
- [12] 唐继新, 贾宏炎, 麻静, 等. 南亚热带珍稀濒危树种格木生长规律研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2015, 35(7): 37-44.
- [13] 孔波, 曹洪麟, 马磊, 等. 广州市格木风水林的群落特征分析[J]. 热带地理, 2013, 33(3): 307-313.
- [14] 赵志刚, 郭俊杰, 曾杰, 等. 广西大明山格木种群的空间分布格局与数量动态特征[J]. 林业科学, 2014, 50(10): 1-7.
- [15] 方夏峰, 方柏州. 闽南格木木材物理力学性质的研究[J]. 福建林业科技, 2007, 34(2): 146-147.
- [16] 李胜强, 许建新, 陈波, 等. 珍稀植物格木的研究进展[J]. 广东林业科技, 2008, 24(6): 61-64.
- [17] 邓华格, 温志滔, 缪绅裕, 等. 广东罗浮山珍稀濒危植物多样性及格木群落特征[J]. 广东林业科技, 2010, 26(3): 35-41.
- [18] 伍庆均. 降香黄檀培育技术[J]. 广东林业科技, 2014, 30(1): 74-76.
- [19] 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): 265-268.
- [20] 黄馨, 刘君昂, 周国英, 等. 降香黄檀不同混交模式土壤肥力的比较研究[J]. 土壤通报, 2014, 45(5): 1130-1136.
- [21] 孙洁, 刘俊, 郁培义, 等. 不同基质配方对降香黄檀幼苗生长生理的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2015, 35(7): 45-49.
- [22] 吴国欣, 王凌晖, 梁惠萍, 等. 氮磷钾配比施肥对降香黄檀苗木生长及生理的影响[J]. 浙江农林大学学报, 2012, 29(2): 296-300.
- [23] Timmer V R. Exponential nutrient loading: a new fertilization technique to improve seedling performance on competitive sites[J]. New Forests, 1997, 13(1-3): 279-299.
- [24] 黄少伟, 谢维辉. 实用SAS编程与林业试验数据分析[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2001.
- [25] 徐朝斌, 钟全林, 程栋梁, 等. 江西4刨花楠种源苗木叶片表型性状与生物量分配的比较[J]. 安徽农业大学学报, 2012, 39(6): 920-924.
- [26] 邱治军, 周光益, 陈升华. 海南特有珍贵红木树种: 降香黄檀[J]. 林业科技通讯, 2004(6): 105-107.
- [27] FARRAR J F, JONES D L, NORBY R, et al. The control of carbon acquisition by roots[J]. New Phytologist, 2010, 147(1): 43-53.
- [28] HUO C F, WANG Z Q, SUN H L, et al. Interactive effects of light intensity and nitrogen supply on *Fraxinus mandshurica* seedlings growth, biomass, and nitrogen allocation[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(8): 1658-1664.
- [29] FAN Z, WANG Z, WU C, et al. Effect of different nitrogen supply on *Fraxinus mandshurica* seedling's biomass, N partitioning and their seasonal variation[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(9): 1497-1501.