

文章编号:1001-1498(2012)01-0023-07

# 不同氮素水平对红厚壳幼苗生长及光合特性的影响

贾瑞丰, 尹光天\*, 杨锦昌, 李荣生, 邹文涛

(中国林业科学研究院热带林业研究所, 广东 广州 510520)

**摘要:**采用温室盆栽方法,设置0(对照)、50、100、150、200、300、400、600 mg·株<sup>-1</sup>个氮素处理,研究氮素供应对红厚壳幼苗生长及光合特性的影响。结果表明:随供氮量的增加,红厚壳幼苗高、地径、叶面积及整株生物量均呈现出先增加后降低的趋势,均在200 mg·株<sup>-1</sup>时达到峰值,分别为22.06 cm、0.65 cm、327.27 cm<sup>2</sup>和10.43 g·株<sup>-1</sup>,是对照的1.59、1.25、2.58、1.90倍;地下生物量N5显著高于N7、N8处理,但与其他处理无显著性差异,根冠比随供氮量的增加呈现单调递减趋势;红厚壳幼苗叶绿素a、b及总量随供氮量的增加而增加;红厚壳幼苗的净光合速率、气孔导度、胞间CO<sub>2</sub>浓度以及蒸腾速率随供氮量的增加呈现出先增加后减小的趋势,均在200 mg·株<sup>-1</sup>时达最大值,分别是7.29 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>、0.071 mol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>、220.22 μmol·mol<sup>-1</sup>和1.34 mmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>,分别是对照的2.26、1.92、1.37、1.79倍,不同氮素处理间红厚壳光合气体交换参数差异均显著。结果表明:施氮量200 mg·株<sup>-1</sup>左右为红厚壳幼苗温室栽培的最佳施肥量。

**关键词:**红厚壳;氮肥;生长特性;光合特性

中图分类号: S723.1

文献标识码: A

## Effects of Nitrogen Application on the Growth and Photosynthetic Characteristics of *Calophyllum inophyllum* Seedlings

JIA Rui-feng, YIN Guang-tian, YANG Jin-chang, LI Rong-sheng, ZOU Wen-tao

(Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, Guangdong, China)

**Abstract:** A greenhouse pot experiment was conducted to study the growth and photosynthetic characteristics of *Calophyllum inophyllum* L. seedlings under different nitrogen fertilization levels (0, 50, 100, 150, 200, 300, 400, and 600 mg·seedling<sup>-1</sup>). It was indicated that the height, ground diameter, leaf area and biomass of *C. inophyllum* L. seedlings increased as the nitrogen fertilization increased from 0 to 200 mg·seedling<sup>-1</sup> and then decreased with the nitrogen fertilization increased from 200 to 600 mg·seedling<sup>-1</sup>. The maximum values were 22.06 cm, 0.65 cm, 327.27 cm<sup>2</sup> and 10.43 g·seedling<sup>-1</sup>, which were 1.59, 1.25, 2.58, and 1.90 times that of the CK respectively. For underground biomass, N5 was significantly higher than N7, N8, but there was no significant difference among the rest treatments. The root shoot ratio decreased with the nitrogen fertilization increased; Chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll increased with the nitrogen fertilization increased; The net photosynthetic rate, stomatal conductance, intercellular CO<sub>2</sub> concentration and transpiration rate of *C. inophyllum* L. seedlings increased as the nitrogen fertilization increased from 0 to 200 mg·seedling<sup>-1</sup> and then decreased with the nitrogen fertilization increased from 200 to 600 mg·seedling<sup>-1</sup>. The maximum values were 7.29 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>, 0.071 mol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>, 220.22 μmol·mol<sup>-1</sup> and 1.34 mmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>, which were 2.26, 1.92, 1.37 and 1.79 times that of

收稿日期: 2011-03-28

基金项目: 院所专项资金(RITFYWZX200901)和“十一五”林业科技支撑子专题(2009BADB2B0303-1)

作者简介: 贾瑞丰(1986—),男,河南南阳人,硕士研究生,主要从事能源树种资源培育研究。

通讯作者: E-mail: yinguangtian@126.com

the CK respectively. Statistical analysis indicated that the photosynthetic gas exchange parameters reached significant difference under different nitrogen treatments. Based on these data, it could be concluded that  $200 \text{ mg} \cdot \text{seedling}^{-1}$  would be the optimal nitrogen amount for *C. inophyllum* L. seedlings in greenhouse.

**Key word:** *Calophyllum inophyllum* L.; nitrogen fertilization; growth characteristics; photosynthetic characteristics

施肥是培养优质苗木的关键技术环节之一,研究表明,施肥可以促进苗高、地径的生长及生理代谢,增加苗木生物量,提高合格苗产量<sup>[1-3]</sup>。氮素是植物生长必需的主要元素,影响着植物的光合效率与生长,是构成各种重要有机化合物不可缺少的组成部分,因此,氮素需求及氮肥的有效性一直是研究的热点。自从20世纪80年代“指数养分承载理论”被应用于苗木养分研究领域开始<sup>[4]</sup>,人们逐渐发现指数施肥方法对于提高苗木养分利用效率具有积极的作用。Timmer等<sup>[5]</sup>对美国红松(*Pinus resinosa* Ait.)容器苗进行不同剂量指数施肥与常规施肥的对比研究指出:每株  $9.75 \text{ mg N}$  的指数效果肥效等同于每株  $39 \text{ mg N}$  的常规施肥。Salifu等<sup>[6]</sup>对黑云杉(*Picea mariana* (Mill.) BSP) 苗期施肥的研究结果表明,指数或修正指数施肥的苗木在生物量和 N、P、K 养分含量方面均优于常规施肥。我国自引入植物稳态矿质营养理论和相关技术后,陆续对小叶杨(*Populus simonii* Carr.)、泡桐(*Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud.)等树种幼苗的施肥进行了研究<sup>[7]</sup>。安慧等<sup>[8]</sup>研究氮水平对白三叶(*Trifolium repens* L.)幼苗生长及光合生理的影响,结果表明,茎叶生物量及光合气体交换参数随氮素浓度提高呈现先增加后降低趋势,而根系生物量和根冠比则随氮素浓度提高而降低。尹丽等<sup>[9]</sup>研究发现,施氮处理在不同程度上能提高麻疯树(*Jatropha curcas* L.)幼苗的光合速率,促进麻疯树幼苗的生长。目前,应用指数施肥法揭示不同氮素供应对植物幼苗的生长表现及光合的研究较少。

红厚壳(*Calophyllum inophyllum* L.),又名海棠果、胡桐、海桐、君子木、海棠木、琼崖海棠等,为藤黄科(Guttiferae)红厚壳属(*Calophyllum* L.)树种,主要分布于亚州、南美州和大洋州的热带地区,在我国主要分布于海南岛<sup>[10-11]</sup>。红厚壳具有较高的经济和生态价值,国内外关于红厚壳在药用、油用、生态、材用、光合生理等<sup>[12-19]</sup>多方面的功能已有详细报道,但关于红厚壳苗期施肥的研究尚未见报道。本文采取指数施肥法研究不同氮素处理对红厚壳幼苗生长及光合的影响,旨在揭示红厚壳幼苗的氮素需求,确定合适施氮量,为指导红厚壳施肥实践及完善红厚

壳育苗技术提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验于2010年7—12月在中国林业科学研究院热带林业研究所温室大棚中进行。供试红厚壳幼苗为实生苗,种子于2010年3月采自我国海南省。2010年7月选取长势良好,大小均匀一致的幼苗(平均苗高  $6.65 \text{ cm}$ )进行盆栽施肥试验。培养基质为经高压灭菌的混合基质(泥炭:蛭石:珍珠岩的体积比为3:2:2),塑料盆规格为上口径  $10 \text{ cm}$ ,底径  $8 \text{ cm}$ ,高  $8 \text{ cm}$ ,为防止水肥流失,盆内套塑料袋。供试肥料普罗丹高浓度水溶性复合肥,其主要成分含氮总量(N)20%,可利用的磷酐( $\text{P}_2\text{O}_5$ )10%,可溶性钾( $\text{K}_2\text{O}$ )20%,镁(Mg)0.15%,螯合铁(Fe)0.10%,螯合锰(Mn)0.05%,螯合锌(Zn)0.05%,螯合铜(Cu)0.05%,硼(B)0.02%,钼(Mo)0.015%,EDTA螯合剂1.00%。

### 1.2 试验设计

移苗前,先确定基质的最大持水量,以最大持水量的60%~70%作为移苗时的初始水量。移苗时,先用自来水冲洗幼苗,再用去离子水将幼苗冲洗干净,将其移植到塑料盆中。此后称质量浇水,浇水量根据天气状况及苗木生长状况适当调整,保证所有苗木水分条件一致。N肥采用指数施肥模型<sup>[20]</sup>来确定施肥量,公式如下:

$$N_t = N_s(e^{r-1}) - N_{(t-1)}$$

式中: $N_t$ 为相对增加率 $r$ 下的第 $t$ 次施肥量, $N_s$ 为施肥处理前最初阶段苗木的养分含量, $N_{(t-1)}$ 为包括第 $t-1$ 次施肥在内的养分施入总量。 $r$ 的确定参考Dumroese等<sup>[21]</sup>的方法: $N_T = N_s(e^{r-1})$ , $N_T$ 为经过 $t$ 次施肥后最终苗木养分含量(假设肥效为100%)。幼苗的初始N、P、K养分含量分别为12.50、1.80、5.17  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

移苗2周待幼苗稳定后,开始施肥,每隔半月施肥1次,共计12次。具体施肥方案见表1。设置施氮量0、50、100、150、200、300、400、600  $\text{mg} \cdot \text{株}^{-1}$  8个处理,4次重复,每个小区12株。为减少边际效应,定期移动苗盘。试验期间,温室未使用人工光源,白天平

均温度 23 ~ 38 °C, 平均湿度 34% ~ 78%。

表 1 红厚壳幼苗指数施肥方案

施肥时间/月	施 N 素量/(mg · 株 <sup>-1</sup> )							
	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8
0.0	0	2.58	3.95	4.92	5.65	6.76	7.62	8.85
0.5	0	2.81	4.56	5.69	6.68	8.24	9.47	11.34
1.0	0	3.03	5.03	6.59	7.89	10.04	11.79	14.62
1.5	0	3.28	5.67	7.63	9.34	12.23	14.68	18.82
2.0	0	3.56	6.39	8.84	11.02	14.89	18.28	24.16
2.5	0	3.85	7.21	10.25	13.04	18.14	22.77	31.06
3.0	0	4.17	8.12	11.86	15.41	22.12	28.35	39.93
3.5	0	4.52	9.16	13.75	18.22	26.92	35.30	51.32
4.0	0	4.91	10.33	15.93	21.55	32.79	43.96	65.97
4.5	0	5.31	11.64	18.43	25.47	39.94	54.74	84.82
5.0	0	5.75	13.13	21.37	30.12	48.66	68.16	109.00
5.5	0	6.23	14.81	24.74	35.61	59.27	84.88	140.11
合计	0	50.00	100.00	150.00	200.00	300.00	400.00	600.00

### 1.3 测定方法

1.3.1 苗高、地径和生物量测定 施肥结束待幼苗稳定 15 天后,用直尺及游标卡尺调查全部幼苗苗高、地径。生物量测定:每小区随机选取 4 株,将幼苗用去离子水洗净,分根、茎、叶分别称其鲜质量,置于烘箱中 105 °C 杀青 20 min,然后 75 °C 下烘干至恒质量,称其干质量。

1.3.2 叶面积测定 施肥结束待幼苗稳定 15 天后,采用手持式激光叶面积仪 CI-203 进行测定,每小区随机选取 4 株对全株叶面积进行扫描测定。

1.3.3 叶绿素含量测定 采用分光光度计法<sup>[22]</sup>,取新鲜叶片 0.25 g,剪碎置于试管中,浸入(乙醇:丙酮:蒸馏水=4.5:4.5:1.0)混合液 10 mL 密封,在黑暗中浸提 12 h,以混合液作对照,用分光光度计分别测定波长 645 nm 和 663 nm 下的吸光值,按下面公式计算叶绿素含量。

$$\text{叶绿素 a 浓度} = 12.7D_{663} - 2.69D_{645}$$

$$\text{叶绿素 b 浓度} = 22.9D_{645} - 4.68D_{663}$$

叶绿素含量 = (叶绿素浓度 × 提取液体积) / 样品鲜质量

$$\text{叶绿素总量} = \text{叶绿素 a 含量} + \text{叶绿素 b 含量}$$

1.3.4 光合指标测定 采用 Li-6400 便携式光合测定系统,试验结束待苗木稳定后,选择晴朗无风天气,于上午 10:00—12:00 测定叶片气体交换参数。使用开放式气路,空气流速为 500  $\mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$ ,相对

湿度为 43%,温度 27 ~ 30 °C,在 CO<sub>2</sub> 浓度为 400  $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$  和饱和光强 1 800  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  下活体测定红厚壳幼苗的净光合速率、气孔导度、蒸腾速率和胞间 CO<sub>2</sub> 浓度。每小区随机选取 3 株,每株从第二轮叶开始测定 4 ~ 6 片健康的植物叶片。

### 1.4 数据处理

采用 Excel 2003 软件对数据进行统计分析并绘制图表,用 SPSS16.0 对数据进行方差分析和 Duncan 多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同氮素水平对红厚壳幼苗生长特性的影响

2.1.1 不同氮素水平对红厚壳幼苗苗高、地径及叶面积的影响 表 2 表明:随着供氮水平的不断提高,红厚壳幼苗高、地径和叶面积呈现出先增加后降低的趋势,三者是 N5 (200 mg · 株<sup>-1</sup>) 处理最大,分别为 22.06 cm、0.65 cm 和 327.27 cm<sup>2</sup>,分别是对照 (N1) 的 1.59、1.25、2.58 倍。

方差分析结果表明:不同氮素处理间红厚壳幼苗高、地径和叶面积均达显著差异 ( $P < 0.05$ )。进一步作多重比较结果 (表 2) 表明:N5 处理苗高与 N4、N6、N7 和 N8 无显著差异,但与 N1、N2 和 N3 差异显著;N5 处理地径与 N4 和 N6 处理无显著差异,但与其他处理差异显著;N5 处理整株叶面积与 N4 无显著差异,但与其他处理均差异显著。

表2 不同氮素水平对红厚壳苗高、地径及叶面积的影响

处理	施氮量/(mg·株 <sup>-1</sup> )	苗高/cm	地径/cm	叶面积/cm <sup>2</sup>
N1	0	13.85 ± 0.80 d	0.52 ± 0.01 f	126.90 ± 11.32 g
N2	50	17.22 ± 2.15 c	0.55 ± 0.03 de	193.29 ± 19.02 f
N3	100	18.71 ± 0.84 bc	0.56 ± 0.06 cde	241.63 ± 17.78 de
N4	150	21.82 ± 2.14 a	0.63 ± 0.01 ab	311.72 ± 15.06 ab
N5	200	22.06 ± 1.51 a	0.65 ± 0.01 a	327.27 ± 14.98 a
N6	300	21.00 ± 0.22 ab	0.61 ± 0.01 abc	289.46 ± 6.40 bc
N7	400	20.38 ± 0.47 ab	0.60 ± 0.02 bcd	265.87 ± 13.03 cd
N8	600	19.63 ± 2.28 abc	0.59 ± 0.01 bcd	233.54 ± 21.83 e

注: Duncan 多重比较, 同列中不同小写字母表示 5% 水平差异显著, 下同。

### 2.1.2 不同氮素水平对红厚壳幼苗生物量的影响

从图 1 可以看出: 随着施氮量的增加, 红厚壳幼苗根、茎、叶的生物量都呈现先增加后减小的趋势, N5 (200 mg·株<sup>-1</sup>) 处理最大, 根、茎、叶的生物量分别是 2.96、2.31、5.16 g·株<sup>-1</sup>。整株生物量 N5 处理也最大, 为 10.43 g·株<sup>-1</sup>, 是 N1 (对照) 5.50 g·株<sup>-1</sup> 的 1.90 倍。对红厚壳幼苗整株生物量作方差分析, 结果表明: 不同氮素处理间红厚壳幼苗整株生物量均达显著差异 ( $P < 0.05$ )。进一步的多重比较结果表明: N4、N5 和 N6 三者之间无显著差异, 但这 3 个处理红厚壳整株生物量均显著高于其他处理。

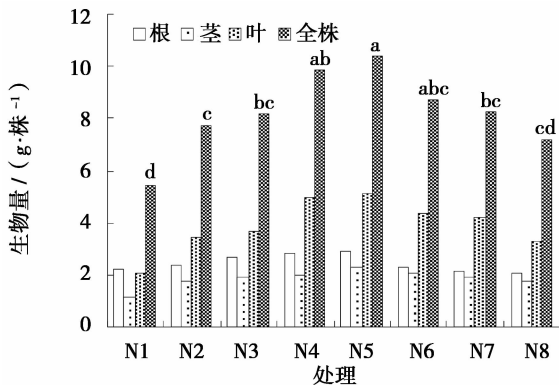


图1 不同氮素水平对红厚壳幼苗生物量的影响

表3 不同氮素水平对红厚壳幼苗地上、地下生物量及根冠比的影响

处理	施氮量/(mg·株 <sup>-1</sup> )	地上部分/(g·株 <sup>-1</sup> )	地下部分/(g·株 <sup>-1</sup> )	根冠比
N1	0	3.21 ± 0.10 c	2.29 ± 0.23 ab	0.71 ± 0.05 a
N2	50	5.01 ± 1.01 b	2.47 ± 0.33 ab	0.49 ± 0.03 b
N3	100	5.58 ± 0.86 b	2.66 ± 0.13 ab	0.48 ± 0.08 bc
N4	150	7.03 ± 0.36 a	2.88 ± 0.86 ab	0.41 ± 0.10 bc
N5	200	7.47 ± 0.22 a	2.96 ± 0.40 a	0.40 ± 0.05 bc
N6	300	6.45 ± 0.62 ab	2.30 ± 0.34 ab	0.36 ± 0.02 c
N7	400	6.15 ± 1.27 ab	2.12 ± 0.44 b	0.35 ± 0.02 c
N8	600	5.71 ± 0.63 b	2.01 ± 0.24 b	0.35 ± 0.09 c

多重比较结果 (表 3) 表明: 红厚壳幼苗地上部

分生物量 N4 和 N5 处理差异不显著, 与 N1、N2、N3 和 N8 处理差异显著; 地下生物量 N5 显著高于 N7、N8 处理, 但与其他处理无显著性差异, 说明本试验中氮素处理的差异并未引起植株根系生长的显著变化; 根冠比随氮素水平提高呈现单调递减趋势, N1 (对照) 的根冠比最大, 约为其他处理的 1.5 ~ 2.0 倍, 说明氮素水平提高使红厚壳幼苗将营养物质更多分配至地上部分, 致使根冠比下降。

### 2.2 不同氮素水平对红厚壳幼苗光合特性的影响

2.2.1 不同氮素水平对红厚壳幼苗叶绿素含量的影响 从表 4 可以看出: 叶绿素 a 和叶绿素 b 及总叶绿素随供氮量的增加而增加。经方差分析结果表明: 各氮素处理间红厚壳幼苗叶绿素 a、叶绿素 b 及叶绿素总量均差异显著 ( $P < 0.05$ )。作进一步的多重比较, N7 和 N8 处理的叶绿素 a 含量较高, 二者差异不显著, 显著高于 N1、N2、N3 及 N4 处理, 是对照 N1 的 1.6 倍; 处理 N4、N5、N6、N7 和 N8 的叶绿素 b 含量较高且处理间差异不显著, 但与其他处理差异显著; N1 处理的叶绿素 a/b 值最大, 达 2.4, 与其他处理存在显著差异; 总叶绿素含量 N8 处理值最大, 与 N5、N6 及 N7 处理无显著差异, 显著高于 N1、N2、N3 及 N4 处理。

2.2.2 不同氮素水平对红厚壳幼苗光合气体交换参数的影响 从图 2 可以看出: 红厚壳幼苗光合气体交换参数净光合速率、气孔导度、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度及蒸腾速率随供氮水平的增加均呈现先增加后减小趋势, 且都在 N5 处理达到最大值, 分别是 7.29 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>、0.071 mol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>、220.22 μmol·mol<sup>-1</sup> 和 1.34 mmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>, 分别是对照 N1 处理的 2.26、1.92、1.37、1.79 倍。方差分析结果表明: 不同氮素处理间红厚壳光合气体交换参数均达显著差异 ( $P < 0.05$ )。进一步作多重比较结果表明: 净光合速率 N5 处理与其他处理均达显著差异; 气孔导

度和胞间  $\text{CO}_2$  浓度 N5 与 N6 处理无显著差异,但与其他处理差异显著;蒸腾速率 N5 与 N4 处理无显著

表4 不同氮素水平对红厚壳幼苗叶绿素含量的影响

处理	施氮量/( $\text{mg} \cdot \text{株}^{-1}$ )	叶绿素 a 含量/( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	叶绿素 b 含量/( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	叶绿素 a/b	总叶绿素含量/( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )
N1	0	$0.68 \pm 0.07$ a	$0.28 \pm 0.04$ a	$2.4 \pm 0.11$ a	$0.96 \pm 0.11$ a
N2	50	$0.96 \pm 0.03$ b	$0.60 \pm 0.10$ b	$1.64 \pm 0.24$ b	$1.56 \pm 0.13$ b
N3	100	$0.99 \pm 0.04$ bc	$0.66 \pm 0.03$ b	$1.50 \pm 0.04$ b	$1.65 \pm 0.07$ b
N4	150	$1.01 \pm 0.01$ bcd	$0.87 \pm 0.11$ c	$1.17 \pm 0.15$ c	$1.88 \pm 0.10$ c
N5	200	$1.04 \pm 0.01$ cde	$0.91 \pm 0.04$ c	$1.15 \pm 0.06$ c	$1.95 \pm 0.04$ cd
N6	300	$1.07 \pm 0.01$ de	$0.92 \pm 0.14$ c	$1.17 \pm 0.17$ c	$1.99 \pm 0.13$ cd
N7	400	$1.09 \pm 0.01$ e	$0.94 \pm 0.16$ c	$1.18 \pm 0.22$ c	$2.03 \pm 0.15$ cd
N8	600	$1.12 \pm 0.07$ e	$0.98 \pm 0.07$ c	$1.15 \pm 0.15$ c	$2.10 \pm 0.02$ d

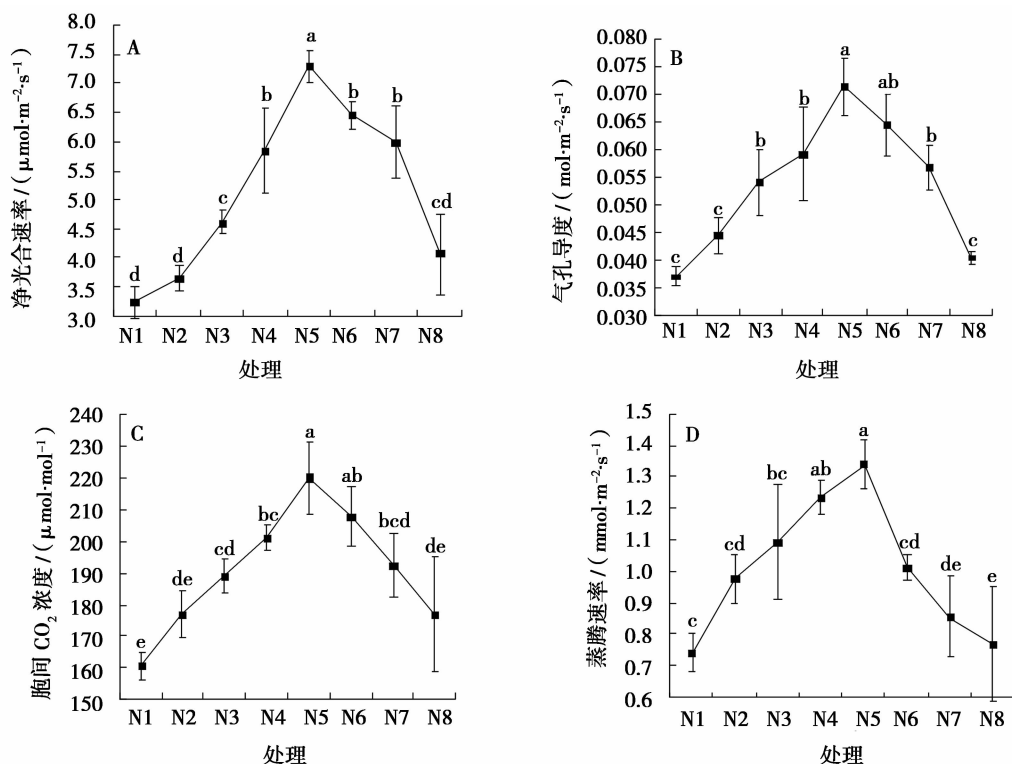


图2 不同氮素水平对红厚壳幼苗净光合速率(A)、气孔导度(B)、胞间  $\text{CO}_2$  浓度(C)和蒸腾速率(D)的影响

### 3 结论与讨论

(1)氮元素是植物生长发育所必须的有机氮化合物的构成成分,与植物细胞分裂和生长及整体的发育关系密切,大量的研究表明,氮元素在施肥过程中对植物的生长影响较大<sup>[23-24]</sup>。本试验中,红厚壳幼苗的苗高、地径、叶面积及生物量随施氮量的增加而增加,氮素量增加到  $200 \text{ mg} \cdot \text{株}^{-1}$ 后,各指标出现不同程度的减少,因此  $200 \text{ mg} \cdot \text{株}^{-1}$ 左右的施氮量是满足红厚壳幼苗生长的临界点。当施氮量超过  $200 \text{ mg} \cdot \text{株}^{-1}$ 时,各指标的降低可能是由于过多

的养分导致参与碳同化的 RuBP 羧化酶活性降低,造成光合作用减弱,而且使幼苗呼吸作用增强<sup>[25]</sup>,从而导致新叶萌发及生长变缓,说明合适的施氮量能促进植物的生长发育,这与李继光等<sup>[26]</sup>、Wu 等<sup>[27]</sup>、魏红旭等<sup>[28]</sup>研究一致。

(2)氮素与光合作用具有密切关系,叶片氮含量影响叶片中光合色素含量和核酮糖 1,5-二磷酸羧化酶(Rubisco)的含量和活性。因此,施氮会影响光合作用及与其相关的气体交换过程。本试验中,红厚壳幼苗叶绿素 a、b 及总叶绿素含量随供氮量的增加而增加,光合气体交换参数随施氮量增加呈现出

先上升后下降的趋势。随供氮水平的提高,氮元素会导致植物体可溶性蛋白含量增加,进而导致核酮糖 1, 5 - 二磷酸羧化酶含量的增加及羧化能力的提高,从而导致光合速率提高,但养分供应过多则会抑制 RuBP 羧化酶活性,因此,适宜的施氮量在一定程度上能提高植株的光合能力,Nakaji 等<sup>[29]</sup>对赤松 (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.) 以及 Brown 等<sup>[30]</sup>对西部铁杉 (*Tsuga heterophylla* (Raf.) Sarg.) 的研究中也有相似结果。

(3) 目前,关于指数施肥下 N 供应量与 N 含量及 N 浓度的关系,人们普遍认为:随供氮量的提高,苗木生物量和 N 含量呈现增加 - 平稳 - 下降的变化规律,而 N 浓度则呈现出持续上升趋势。本研究中,红厚壳幼苗生物量的变化趋势与该结论一致,随施氮量增加呈现出先上升后下降的趋势。Salifu 等应用指数施肥法,依据幼苗生长表现以及养分状况确定出黑云杉<sup>[6]</sup>和北美红栎 (*Quercus rubra* L.)<sup>[31]</sup> 的适宜施氮范围分别是 30 ~ 64、25 ~ 100 mg · 株<sup>-1</sup>,陈琳等<sup>[32]</sup>确定出西南桦 (*Betula alnoides* Buch.-Ham. Ex D. Don) 的适宜施氮范围是 200 ~ 400 mg · 株<sup>-1</sup>。本试验中,200 mg · 株<sup>-1</sup>左右的施氮量是满足红厚壳幼苗生长的临界点,这与不同树种的生长速率有关,不同苗木对养分需求量有较大差异。

综上所述,不同氮素水平对红厚壳幼苗的生长有显著影响,随供氮水平增加,各生长指标和光合指标都呈现出先增加后减少的趋势,都在 N5 水平 (200 mg · 株<sup>-1</sup>) 达到最大值,说明合适的供氮量能显著提高红厚壳幼苗的生长发育。本研究是在温室内进行,所设计供氮水平与红厚壳幼苗野外生存环境存在差异,因此,今后还需借鉴此试验结果开展氮素对野外红厚壳幼苗生长发育的影响,从而为造林实践提供参考。

## 参考文献:

[1] 刘勇,陈燕,张志毅,等. 不同施肥处理对毛白杨杂种苗木生长及抗寒性的影响[J]. 北京林业大学学报,2000,22(1):38-44

[2] Albaugh T J, Allen H L, Dogherty P M, et al. Long term growth responses of loblolly pine optimal nutrient and water resource availability[J]. Forest Ecology and Management, 2004,192:3-19

[3] Jeyanny V, Abrasip A G, Rasidah K, et al. Effects of macronutrient deficiencies on the growth and vigour of Khaya ivorensis seedlings [J]. Journal of Tropical Forest Science, 2009,21(2):73-80

[4] Hawkins B J, Burgess D, Mitchell A K. Growth and dynamics of western hemlock with convention or exponential greenhouse fertilization and planting in different fertility condition[J]. Canadian Journal

of Forest Research, 2005(35):1002-1016

[5] Timmer V R, Armstrong G. Growth and nutrition of containerized *Pinus resinosa* at exponentially increasing nutrient additions[J]. Canadian Journal of Forest Research, 1987,17(7):644-647

[6] Salifu K F, Timmer V R. Optimizing nitrogen loading of *Picea mariana* seedlings during nursery culture[J]. Canadian Journal of Forest Research, 2003(33):1287-1294

[7] 郑槐明,贾慧君. 植物稳态矿质营养理论与技术研究及展望[J]. 林业科学, 1999, 35(1):94-103

[8] 尹丽,胡庭兴,刘永安. 干旱胁迫对不同施氮水平麻疯树幼苗光合特性及生长的影响[J]. 应用生态学报,2010, 21(3):569-576

[9] 安慧,上官周平. 光照强度和氮水平对白三叶幼苗生长与光合生理特性的影响[J]. 生态学报,2009,11(29):6017-6024

[10] 中国科学院植物研究所. 中国高等植物图鉴(II) [M]. 北京:科学出版社,1980

[11] 吴德邻. 海南及广东沿海岛屿植物名录[M]. 北京:科学出版社,1994

[12] 阳辛凤,方佳,陶忠. 红厚壳的开发应用价值分析[J]. 中国野生植物资源,2001,20(6):33-35

[13] 韩长日,宋小平,陈光英. 红厚壳属植物化学成份及药理活性研究进展[J]. 有机化学, 2003,23(2):212-219

[14] 纳智. 滇南红厚壳种子油的脂肪酸成分[J]. 热带亚热带植物学报,2005,13(6):505-506

[15] Pradhan L, Pattnaik R K, Sahoo A K. Calophyllum inophyllum - an economic tree in coastal of Orissa[J]. Environment and Ecology, 1998,16(2):476-477

[16] Vanangamude K, Karivaratharaju T, Ponnusamy A S. Seed germination studies in Punnat (*Calophyllum inophyllum* L.) [J]. South Indian Horticulture, 2000,32(6):352-355

[17] Rahroan M A. Studies on the oil from Alexandna Laurel (*Calophyllum inophyllum*) seed[J]. Bangladesh Journal of Science and Industrial Research, 2003,24:186-192

[18] Rajasekaran B, Rajendran R, Velusamy R. Effect of vegetable oil on rice leafhopper feeding behavior[J]. International Rice Research Newsletter, 2005,12:33-34

[19] 吴志祥,陶忠良,谢贵水. 红厚壳光合特性及其与生态因子的关系[J]. 中国农学通报,2008,24(3):410-416

[20] Timmer V R. Exponential nutrient loading: a new fertilization technique to improve seedling performance on competitive sites [J]. New Forests, 1996,13:275-295

[21] Dumroese R K, Page-Dumroese D S, Salifu K F. Exponential fertilization of *Pinus monticola* seedlings: nutrient up take efficiency, leaching fractions, and early out planting performance [J]. Canadian Journal of Forest Research, 2005,35(12):2961-2968

[22] 张志良,翟伟箴. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社,2003:35-43

[23] 吴家胜,张往祥,曹福亮. 氮磷钾对银杏苗生长和生理特性的影响[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2003,27(1):63-66

[24] 杨平,孙向阳,王海燕,等. 施肥对台湾青枣营养生长的影响[J]. 北京林业大学学报,2007,29(6):211-214

[25] Manter D K, Kavanagh K L, Rose C L. Growth response of Doug-

- las-fir seedlings to nitrogen fertilization: importance of *Rubisco* activation state and respiration rates [J]. *Tree Physiology*, 2005, 25: 1015 - 1021
- [26] 李继光, 李廷强, 朱恩. 氮对超积累植物东南景天生长和镉积累的影响[J]. *水土保持学报*, 2007, 21(1): 54 - 58
- [27] Wu F Z, Bao W K, Li F L. Effects of drought stress and N supply on the growth, biomass partitioning and water-use efficiency of *Sophora davidii* seedlings[J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2008, 63: 248 - 255
- [28] 魏红旭, 徐程扬, 马履一, 等. 不同指数施肥方法下长白落叶松播种苗的需肥规律[J]. *生态学报*, 2010, 30(3): 685 - 690
- [29] Nakaji T, Takenaga S, Kuroha M, *et al.* Photosynthetic response of *Pinus densiflora* seedlings to high nitrogen load[J]. *Environmental Sciences*, 2002, 9(4): 269 - 282
- [30] Brown K R, Thompson W A, Camm E L. Effects of N addition rates on the productivity of *Picea sitchensis*, *Thuja plicata*, and *Tsuga heterophylla* seedlings II Photosynthesis, <sup>13</sup>C discrimination and N partitioning in foliage[J]. *Trees*, 1996, 10: 198 - 205
- [31] Salifu K F, Jacobs D F. Characterizing fertility targets and multielement interactions in nursery culture of *Quercus rubra* seedlings[J]. *Annual Forest Science*, 2006, 63: 231 - 237
- [32] 陈琳, 曾杰, 徐大平, 等. 氮素营养对西南桦幼苗生长及叶片养分状况的影响[J]. *林业科学*, 2010, 46(5): 35 - 40