

# Effects of Exponential Fertilization on the Seedling Growth and Photosynthetic Physiology of *Chorisia speciosa*\*

Deliang Liu<sup>1</sup>, Xiaoshan Zhang<sup>1</sup>, Xiaogang Ding<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Life Sciences, Jiaying University, Meizhou

<sup>2</sup>Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou

Email: ldl@jyu.edu.cn

Received: Sep. 6<sup>th</sup>, 2013; revised: Sep. 14<sup>th</sup>, 2013; accepted: Sep. 19<sup>th</sup>, 2013

Copyright © 2013 Deliang Liu et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**Abstract:** In order to explore the effects of exponential fertilization on the seedling growth and photosynthetic physiology characteristics of *Chorisia speciosa*, the exponential fertilization method was conducted with 6 nitrogen dose levels (applying a total of 0, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 mg/seedling in this experiment). The results showed that: 1) The height and ground diameter of different treatments had significant differences, of whom the impact ranking of height, ground diameter and biomass was height, ground diameter, gross dry weight; 2) From root and leaf eigenvalue, the growing effect of *Chorisia speciosa* seedlings was different under different fertilizing methods, and among blade area, treatment VI achieved the maximum and treatment IV achieved the minimum, but the blade area of different treatments had no significant differences; moreover the 4 index of root total length, surface area, projective area and volume in the different concentration treatments had no significant differences but among treatment VI had the best; 3) Photosynthetic physiological characteristics of *Chorisia speciosa* seedling with different treatments had significant differences, of whom net photosynthetic rate first increased and then decreased, but with the increase in the amount of nitrogen fertilizer, stomatal conductance first decreased and then increased and then decreased again, and the changing trend of the intercellular CO<sub>2</sub> concentration and transpiration rate kept consistent with the changing trend of stomatal conductance.

**Keywords:** *Chorisia speciosa*; Exponential Fertilization; Seedling Growth; Photosynthetic Physiology

## 指数施肥对美丽异木棉幼苗生长及光合生理的影响\*

刘德良<sup>1</sup>, 张晓珊<sup>1</sup>, 丁晓纲<sup>2</sup>

<sup>1</sup>嘉应学院生命科学学院, 梅州

<sup>2</sup>广东省林业科学研究院, 广州

Email: ldl@jyu.edu.cn

收稿日期: 2013年9月6日; 修回日期: 2013年9月14日; 录用日期: 2013年9月19日

**摘要:** 采用指数施肥法、设置6个不同施肥浓度(0、1000、2000、3000、4000、5000 mg/株)对美丽异木棉的幼苗生长、光合生理特性进行了研究。结果表明: 1) 不同处理的苗高、地径生长差异, 其中苗高、地径、生物量受N素指数施肥影响的大小顺序为: 苗高 > 地径 > 总干重; 2) 从苗木根系、叶片生长特征值看, 不同浓度指数施肥处理对美丽异木棉叶片、根系生长的效应是不同的, 其中, 叶

\*基金项目: 广东省林业科技创新专项资金项目(2011KJCX014-04)。

片面积以处理 VI 为最大, 处理 IV 为最小, 但不同处理间的差异不显著; 而根系总长度、表面积、投影面积、体积 4 项指标各浓度处理间虽未达显著水平, 但均以处理 VI 为最好; 3) 幼苗光合生理指标有显著差异, 其中净光合速率呈现先增加后减小的趋势, 而随着施肥浓度的增加, 气孔导度呈现先减小后增加再逐渐减小的趋势, 胞间 CO<sub>2</sub> 浓度和蒸腾速率由于受气孔导度的影响, 表现出与气孔导度相似的变化变化趋势。

**关键词:** 美丽异木棉; 指数施肥; 幼苗生长; 光合生理

## 1. 引言

施肥是一项重要的农业措施, 但不同施肥方法的养分利用效率不同, 因此, 如何提高施肥过程中养分利用率就显得十分重要, 并日益成为国内外研究的热点之一<sup>[1-3]</sup>。大量的研究表明<sup>[4-7]</sup>, 苗木指数施肥方法既可满足植物不同生长时期养分的需要, 提高养分利用效率, 又可节省肥料并避免了多余的肥料对土壤造成污染, 进而成为当前国内外苗木培育中的首选施肥技术。

指数施肥制度是基于“稳态养分”(steady-status nutrient)理论<sup>[8]</sup>, 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(Timmer, 1996)<sup>[9]</sup>。Timmer(1996)经推导得出了(1)式方程式:

$$(1/w)dW/dt = (1/n)dn/dt \quad (1)$$

其中,  $n$ 、 $W$ 、 $t$  分别为养分含量、生物量、时间。可见, (1)的等号左右分别是苗木相对生长率( $R_G$ )和养分吸收率( $R_U$ ), 即:  $R_G = R_U$ 。至此, 通过指数施肥来实现植物稳态养分积累的技术得以确立。

美丽异木棉(*Chorisia speciosa*)原产于南美洲, 是近十年来我国华南地区引种、推广应用的重要园林绿化树种之一。其树干直立, 树冠呈伞形, 叶色青翠, 成年树树干呈酒瓶状; 冬季盛花期满树姹紫, 秀色照人, 是优良的观花乔木和庭院绿化、美化的高级树种。虽然有关美丽异木棉光合生理、生理生化特性方面的研究亦有一些报道<sup>[10-12]</sup>, 但鉴于植物的光合生理与生长密切相关, 开展指数施肥条件下苗木生长表现及光合生理特性研究, 透过美丽异木棉苗期对施肥处理的光合生理及响应, 有助于深入了解美丽异木棉的生长发育规律, 从而为美丽异木棉的引种栽培、合理施肥和制定栽培集约管理措施等提供科学依据。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 试验地概况

试验地设在广东省林业科学研究院苗圃内温室, 广州市独特的地理环境(南亚热带与中亚热带的过渡地带)和优越的气候条件, 为美丽异木棉等原产热带、亚热带植物的引种栽培提供了得天独厚的条件。试验地的地理坐标为 N23°14', E113°23', 年均温 23℃, 1 月气温最低为 13.3℃, 7 月气温最高为 28.5℃, 年活动积温达 7000℃以上; 年均降雨量为 1500~1800 mm, 80%以上的降雨量集中在 4~9 月, 高温期与多雨期基本一致, 形成春末夏初“雨热同步”的气候特征。

### 2.2. 试验材料及处理

2011 年 10 月中旬, 选取平均苗高约 3 cm 生长正常且均匀一致的美丽异木棉播种苗, 用蒸馏水将根部携带的基质冲洗干净, 再移植到装有等量混合基质(泥炭、蛭石、珍珠岩 = 3:2:2)的塑料盆中(基质含 N 量为 3.349%), 盆的规格为 8.5 cm × 6 cm × 7 cm(每盆 1 株)。为防止水肥流失, 盆内套有白色塑料袋。

试验开始前, 先将塑料盆中装入高压灭菌过的混合基质, 并记录盆和基质的初始重量  $W_0$ , 然后向基质中淋足蒸馏水(使之达到饱和), 为防止水分蒸发, 在盆上部盖塑料板, 自然控干 24 h, 如此反复三次, 以保证基质充分饱和(第三次被认为基质达到了饱和状态), 再次记录此时盆和基质的重量  $W_1$ , 则( $W_1 - W_0$ )为该基质的最大持水量。根据美丽异木棉幼苗的生长需水特性, 以 70%的最大持水量作为初始灌溉量, 然后把盆袋基质苗水的总重量作为今后每天称重浇水的标准(灌溉量可以根据天气情况适当调整)。为了减小边际效应, 试验期间, 每两周移动一次苗盘。温室

平均温度为 20℃~27℃, 平均湿度为 23%~68%。

## 2.3. 研究方法

### 2.3.1. 试验设计施肥方法

试验采用目前使用最为广泛的指数施肥模型<sup>[4,6]</sup>来确定施肥量, 其方程式为:

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

式中,  $N_t$ 为在相对增加率  $r$  下的第  $t$  次施肥量,  $N_s$ 为施肥处理前植株体内的初始养分含量<sup>[4]</sup>,  $N_{t-1}$ 为包括第  $t-1$  次施肥在内的养分施入总量<sup>[6]</sup>。 $r$  的确定参考 Dumroese 等<sup>[4]</sup>的方法。

$$N_T = N_s (e^{rt} - 1) \quad (3)$$

式中,  $N_s$ 、 $r$ 、 $t$  同(1),  $N_T$ 为经过  $t$  次施肥后最终苗木养分含量(假设施肥效率为 100%)。

### 2.3.2. 施肥量的确定

2011 年 11 月 12 日开始施肥, 试验共设 5 个指数施肥处理和 1 个不施肥处理(设置每株 0、1000、2000、3000、4000、5000 mg 6 个施肥量处理, 编号为 I~VI)。每个处理 48 株苗木, 每次具体施肥量见表 1。肥料选用一种加拿大水溶性肥(Plant Products 20:20:20 (N:P:K) plus micronutrients Co.Ltd., Brampton, Ontario)<sup>[7,8,13,14]</sup>, 施入量根据每次的施  $N$  量进行计算<sup>[15]</sup>。

综合考虑植物生长期及施肥操作的方便性, 指数施肥试验施肥的间隔设为 7 d, 总施肥次数为 10 次( $t=10$ )。

### 2.3.3. 测定指标和方法

#### 1) 幼苗生长指标的测定

施肥结束后, 每个小区随机抽取 20 株苗木, 测定苗高、地径, 求得平均值作为各处理苗木的生长量; 再随机抽取 7 株苗, 用去离子水将苗木冲洗干净, 于根茎处将其分为地上和地下 2 部分, 称其鲜重后放入 70℃烘箱内连续烘 48 h 至恒重, 再分别称取其干重得总干重生物量。

每处理随机抽取 3 株苗, 借助 LA-S 型全能型植物图像分析仪及软件(杭州万深检测科技有限公司)对幼苗的根系生长、叶片生长状况进行综合分析。根系取样时, 将栽植容器放在尼龙网筛上用水冲去泥土, 获得整体根系, 用流水缓缓冲洗干净, 冲洗时在根系下面放置 100 目筛以防止脱落的根系被水冲走, 之后迅速将根系带入有空调控温的室内, 测定整株根系的根长、根表面积、根平均直径、根体积等; 叶片取样时(由上向下数第 5~7 片), 测定叶面积、叶片面积、穿孔面积、叶柄面积、叶片周长、叶柄周长、叶周长、穿孔周长、叶片长度、叶柄长度、叶片宽度、叶柄宽度、叶片长宽比、叶柄长宽比、包膜(齿-齿之间的直线长度和)等<sup>[16]</sup>。

#### 2) 光合指标的测定

采用 Li-6400 便携式光合分析仪((美国 LI-COR 公司)测定苗木在不同指数施肥条件下的净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度(Ci)和蒸腾速率(Tr)等光合指标。2012 年 2 月, 选择一个晴朗无云的上午, 测定时间在 10:00~12:00 之间进行, 每处理选取 5 株生长健壮、大小均匀健康的植株, 每株苗木 3 片健康成熟叶片(由上向下数第 5~7 片), 每个叶片重复 5 次, 取平均值。测定时, 大气 CO<sub>2</sub> 浓度为 387~459 μmol·mol<sup>-1</sup>, 叶室温度控制在 25℃~30℃, 大气相对

Table 1. Schedule of exponential fertilization by seedlings age *Chorisia speciosa* (mg·株<sup>-1</sup>)  
表 1. 美丽异木棉苗期指数施肥方案(mg·株<sup>-1</sup>)

施肥处理	总量/mg	t									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I(N0)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
II(N1000)	1000	5.92	9.38	14.86	23.55	37.31	59.11	93.67	148.42	235.17	372.62
III(N2000)	2000	7.06	11.99	20.35	34.53	58.62	99.49	168.88	286.65	486.56	1825.87
IV(N3000)	3000	7.77	13.73	24.27	42.89	75.80	133.96	236.76	418.42	739.49	1306.91
V(N4000)	4000	8.29	15.08	27.42	49.88	90.71	164.99	300.07	545.75	992.57	1805.24
VI(N5000)	5000	8.71	16.19	30.11	55.99	104.12	193.64	360.10	669.68	1245.40	2316.06

湿度为 38%~62%，叶室光合有效辐射为 600 μmol/(m<sup>2</sup>·s)。

### 3. 结果与分析

#### 3.1. 不同浓度指数施肥处理对苗高、地径、生物量的影响

不同指数施肥处理下的美丽异木棉苗期苗高和地径之间存在着显著的差异，生物量之间差异不显著 ( $P < 0.05$ , 表 2)。由表 2 可知, 经指数施肥处理的(II~VI)美丽异木棉苗高和地径均显著大于对照处理 I, 其中, 处理 V 的苗高、地径、总干重均表现出最佳状态,

分别是处理 I 的 1.33、1.30、1.05 倍, 总株生物量干重的大小顺序为: 处理 V > 处理 I > 处理 VI > 处理 II > 处理 III > 处理 IV, 但地下部鲜重以对照处理 I 为最好, 究其原因可能是幼苗初期的养分胁迫反而会促使根系生长。

从不同浓度指数施肥处理对苗高、地径、生物量的影响程度看, 美丽异木棉幼苗生长受 N 素影响的大小顺序为: 苗高 > 地径 > 总干重。

#### 3.2. 不同浓度指数施肥处理的苗木根系生长特征值

不同施肥方法对美丽异木棉幼苗根系生长的影

Table 2. Effects of varied nitrogen exponential fertilization treatments on growth performance and biomass of *Chorisia*  
表 2. 不同浓度指数施肥对美丽异木棉生长表现及生物量的影响

处理	苗高/cm	地径/mm	地上部分鲜重/g	地下部分鲜重/g	总干重/g
I (N0)	15.44 ± 4.43c	5.40 ± 1.31c	7.64 ± 3.40a	5.16 ± 2.82a	2.27 ± 1.48a
II (N1000)	18.69 ± 3.10ab	6.37 ± 0.44ab	7.90 ± 0.35a	4.03 ± 0.98a	1.67 ± 0.41a
III (N2000)	20.68 ± 3.74a	6.12 ± 0.78abc	6.96 ± 2.14a	2.97 ± 0.89a	1.30 ± 0.46a
IV (N3000)	17.30 ± 2.15bc	5.54 ± 0.95bc	6.15 ± 1.92a	3.14 ± 1.30a	1.25 ± 0.82a
V (N4000)	20.60 ± 3.19a	7.00 ± 0.98a	8.70 ± 3.20a	4.84 ± 1.63a	2.39 ± 1.07a
VI (N5000)	19.70 ± 1.75ab	6.37 ± 0.75ab	8.67 ± 2.48a	4.04 ± 2.26a	2.09 ± 1.29a

注: 表中字母为 Duncan 多重比较结果, 每栏中处理间相同字母表示差异不显著, 不同字母表示差异显著  $P < 0.05$ 。

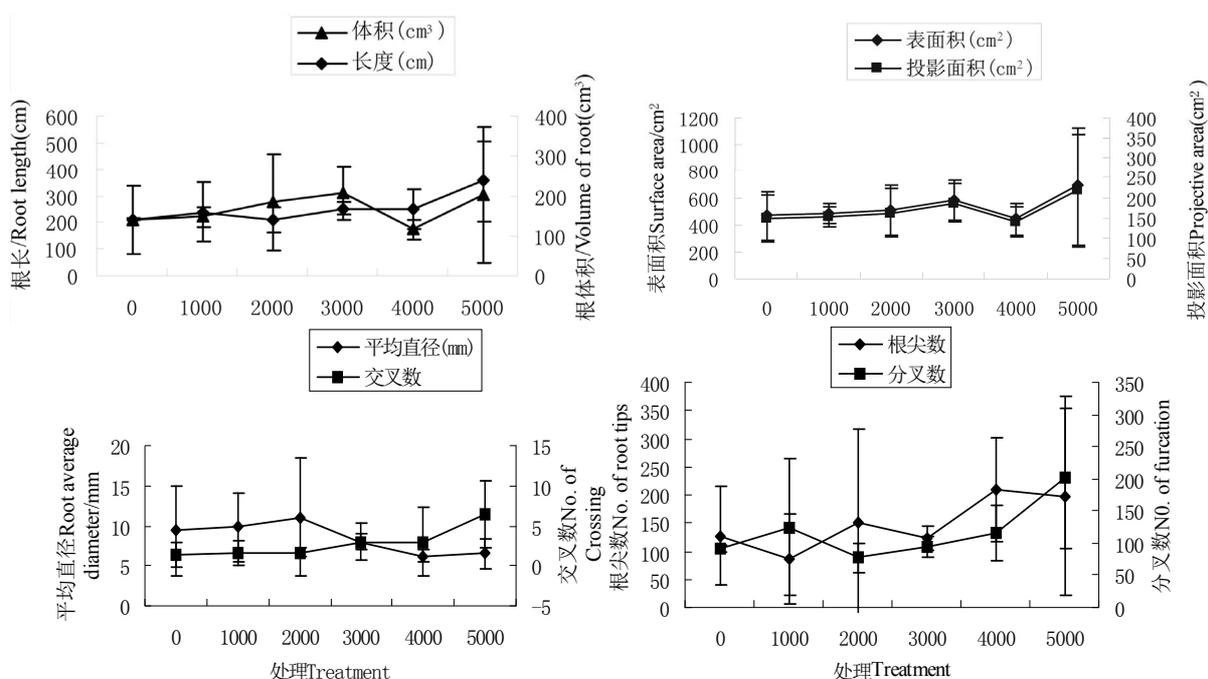


Figure 1. The growing dynamic of *Chorisia speciosa* seedlings root under different fertilizing methods  
图 1. 不同施肥方法下苗木根系生长动态

响如图 1 所示, 总体上看, 施肥具有诱导苗木根系生长的作用。从根系总长度看, 随着施肥量的递增, 根系总长度从 141.38 cm(对照处理 I 施肥量为 0 mg/株) 增加到 236.55 cm(处理 VI 施肥量为 5000 mg/株), 从大到小依次是处理 VI > 处理 IV > 处理 V > 处理 II > 处理 III > 处理 I, 但根系表面积、投影面积、体积三项指标在施肥量递增到处理 V 的 4000 mg/株时, 此时根系生长止增为跌, 随后再大幅递增; 从根系平均直径看, 在施肥量递增到处理 III 的 2000 mg/株时为最大, 达 11.07 mm, 此后, 随施肥量递增, 根系生长都小于对照处理 I 的 9.38 mm; 根尖数在施肥量为处理 II 的 1000 mg/株时为最低, 平均为 85.33, 且小于对照处理 I 施肥量的 127.00; 根系的分叉数在施肥量为 2000 mg/株时(处理 III)为最低, 平均为 77.00, 且小于对照处理 I 施肥量的 91.33; 根系的交叉数从对照的 1.33, 随施肥量增加递增到 6.33。方差分析表明, 上述根系 8 项生长指标都达到差异显著性水平( $P < 0.05$ )。

### 3.3. 不同浓度指数施肥处理的苗木叶片生长特征值

图 2 可以看出, 不同浓度指数施肥处理后的叶面积(含叶柄面积)和叶片面积以处理 VI 为最大(分别为 16395.46 mm<sup>2</sup>、16370.08 mm<sup>2</sup>), 处理 IV 为最小(12551.63 mm<sup>2</sup>、12548.07 mm<sup>2</sup>), 从大到小依次为处理 VI > 处理 I > 处理 III > 处理 II > 处理 V > 处理 IV, 但方差分析表明各处理间差异均未达到显著性水平( $P < 0.05$ ); 叶片长宽比差异不大, 界于 2.0 ± 0.1 之间, 但叶片周长差异较大, 其中, 处理 III 为最大(1123.233 mm), 处理 IV 为小(496.49 mm), 从大到小依次是处理 III > 处理 II > 处理 V > 处理 VI > 处理 I > 处理 IV, 方差分析表明各处理间差异达到显著性水平( $P < 0.05$ ); 叶片穿孔数量以处理 VI 为最多(平均为 15.33)、处理 IV 为最少(平均为 7.33), 各处理间差异达到显著性水平( $P < 0.05$ ); 叶片包膜差异较大, 其中处理 I、处理 IV、处理 VI 叶片包膜均为 0。

### 3.4. 不同浓度指数施肥处理的幼苗光合特性

#### 3.4.1. 净光合速率

净光合速率反映了植物光合物质有效积累速度的

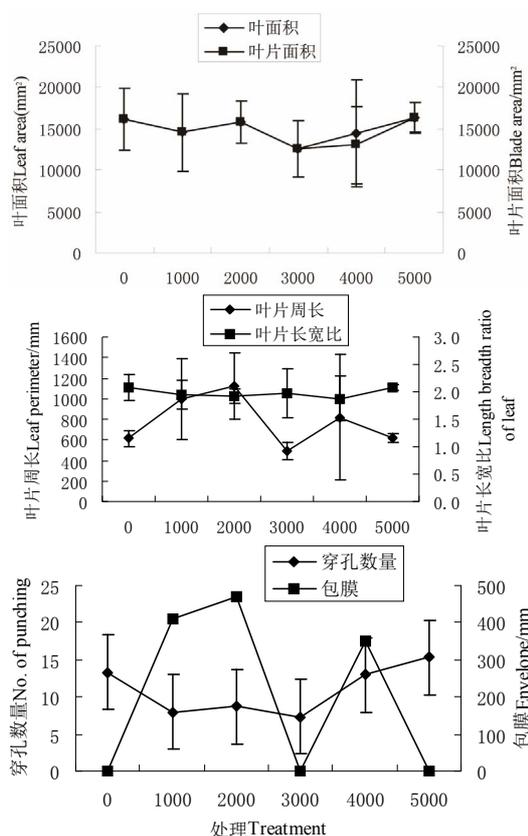


Figure 2. The growing dynamic of *Chorisia speciosa* seedlings leaf under different fertilizing methods  
图 2. 不同施肥方法下苗木叶片生长动态

快慢, 从表 3 可以看出, 随氮素施用量的增加, 美丽异木棉的净光合速率呈现出先增加后减小的趋势, V 处理时的净光合速率达到最大值, 为 2.89 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>, 分别是 I、II、III、IV、VI 的 20.64、1.88、1.11、1.03、1.42 倍。方差分析表明: 各处理间美丽异木棉净光合速率差异显著( $P < 0.05$ )。

#### 3.4.2. 气孔导度

由表 3 可知, 随着氮素施用量的增加, 气孔导度先减小然后增加再逐渐减小, 其中, 处理 I、II 的气孔导度最大, 均为 0.08 mol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>, 处理 VI 的气孔导度最小, 仅为 0.01 mol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>。方差分析表明, 在光照和温度等外界条件一致的情况下, 各处理间美丽异木棉气孔导度差异显著( $P < 0.05$ )。

#### 3.4.3. 胞间 CO<sub>2</sub> 浓度

由表 3 可知, 处理 I 的胞间 CO<sub>2</sub> 浓度最大, 为 384.09 μmol·mol<sup>-1</sup>, 分别是处理 II、III、IV、V、VI 的 1.12、1.32、1.11、2.06、3.11 倍。处理由低到高,

**Table 3. Effects of varied nitrogen exponential fertilization treatments on photosynthetic characteristics on seedlings of *Chorisia speciosa***  
**表 3. 不同浓度指数施肥对美丽异木棉幼苗光合特性的影响**

处理 mg/株	净光合速率 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	气孔导度 $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	胞间 $\text{CO}_2$ 浓度 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$	蒸腾速率 $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	水分利用效率 $\mu\text{mol}/\text{mmol}$
0	0.14 ± 1.17b	0.08 ± 0.02a	384.09 ± 31.09a	1.16 ± 0.31ab	0.12
1000	1.54 ± 1.57b	0.08 ± 0.02a	342.64 ± 39.56ab	1.26 ± 0.27a	1.22
2000	2.61 ± 0.86ab	0.05 ± 0.01ab	288.99 ± 21.07ab	0.89 ± 0.15ab	2.93
3000	2.80 ± 3.29ab	0.06 ± 0.03ab	345.55 ± 118.14ab	1.13 ± 0.65ab	2.47
4000	2.89 ± 2.95a	0.02 ± 0.02b	185.68 ± 33.41ab	0.48 ± 0.41ab	5.99
5000	2.04 ± 0.67ab	0.01 ± 0.00b	123.54 ± 63.25b	0.29 ± 0.03b	7.02

胞间  $\text{CO}_2$  浓度呈现出先减小然后增加再减小的趋势，变化趋势与气孔导度相似。方差分析表明，各处理间美丽异木棉胞间  $\text{CO}_2$  浓度差异显著 ( $P < 0.05$ )。

#### 3.4.4. 蒸腾速率

由表 3 可知，叶片的蒸腾速率随氮素的增加而呈现出两次先增加后减小的趋势。处理的 II 的蒸腾速率最大，为  $1.26 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，分别是处理 I、III、IV、V、VI 的 1.09、1.42、1.12、2.63、4.34 倍，这与气孔导度密切相关，气孔导度越低，植物通过气孔散失到空气中的水分就越少，蒸腾速率也越小。方差分析表明，各处理间美丽异木棉蒸腾速率差异显著 ( $P < 0.05$ )。

#### 3.5. 不同浓度指数施肥处理的苗木水分利用效率

植物水分利用效率指植物消耗单位水分所生产的同化物质的量，它实质上反映了植物耗水与其干物质生产之间的关系，是评价植物生长适宜程度的综合生态指标。叶片瞬时水分利用效率(净光合速率与蒸腾速率的比)能较为准确反映出树木叶片的瞬间或短期的反应行为，表 3 可知，随着施肥量的递增，苗木的水分利用效率亦依次递增，表明在水分充足的情况下，养分胁迫与否是提高或限制美丽异木棉耗水能力或吸水潜力的重要因素。

### 4. 小结与讨论

美丽异木棉具有速生、深根性、抗逆性强等特点，与榕属(*Ficus*)等华南常用园林绿化树种比较，美丽异木棉幼苗对土壤肥力的生长反应更为敏感。指数施肥作为理想的施肥方法，业已广泛应用于苗木培育<sup>[17]</sup>。

本研究表明，N 素指数施肥对美丽异木棉幼苗生长有明显的促进作用，其中，不同浓度处理的苗高、地径间均存在显著性差异 ( $P < 0.05$ )，但生物量间差异不显著 ( $P < 0.05$ )。特别地，美丽异木棉幼苗生长受 N 素影响的大小顺序为：苗高 > 地径 > 总干重。

植物的各种营养器官在结构和生理上并不是孤立的，而是互相联系和互相影响的，体现着植株生活的整体性和生长相关性。叶是植物进行同化作用和蒸腾作用的主要器官，与生长环境等有着密切的联系，因而植物对环境的适应也较多的反映在叶的形态和构造上<sup>[17]</sup>，而根系的吸收、生长与合成能力直接影响植物地上部的生长、发育。本研究中，从苗木根系特征值(根总长、根表面积、根平均直径、根体积、根尖数、分叉数等)、叶片特征值看(叶面积、叶片面积、叶片周长、叶片长宽比、穿孔数量、包膜等)，不同浓度指数施肥处理对美丽异木棉叶片、根系生长的效应是不同的，其中，叶片面积以处理 VI 为最大( $16370.08 \text{ mm}^2$ )，处理 IV 为最小( $12548.07 \text{ mm}^2$ )，从大到小依次为处理 VI > 处理 I > 处理 III > 处理 II > 处理 V > 处理 IV，但差异不显著 ( $P < 0.05$ )；根系总长度、表面积、投影面积、体积 4 项指标各浓度处理间虽未达显著水平，但均以处理 VI 为最好。

光合作用的研究在理论和生产实践上都具有重大的意义。各种耕作和栽培措施，都是为了更最大限度地提高光合作用，从而获得更多的光合产物。吴吉林等<sup>[10]</sup>对美丽异木棉光合作用的研究表明，美丽异木棉的光饱和点较高，而补偿点较低； $\text{CO}_2$  饱和点和  $\text{CO}_2$  补偿点都较低，特别地夏季中午光合作用出现午休的原因主要是强光、高温、低湿和土壤干旱等，特别是气温或叶温过高引起了气孔的部分关闭。本研究中，美丽异木棉 2012 年 2 月份净光合速率呈现先增

加后减小的趋势,而随着施肥浓度的增加,气孔导度呈现先减小后增加再逐渐减小的趋势,胞间 CO<sub>2</sub> 浓度和蒸腾速率由于受气孔导度的影响,表现出与气孔导度相似的变化趋势,可以看出,本试验结果与吴吉林的研究结论有许多相似性。为此,美丽异木棉生长季节的栽培管理中可以通过降温、保湿等措施,降低周围小环境的温度,减弱光合抑制的程度,以促进幼苗更好、更快的生长。

## 参考文献 (References)

- [1] 侯彦林. “生态平衡施肥”的理论基础和技术体系[J]. 生态学报, 2000, 20(4): 653-658.
- [2] 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.
- [3] 何茜, 王冉, 李吉跃等. 不同浓度指数施肥方法下马来沉香与土沉香苗期需肥规律[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(5): 1193-1203.
- [4] H. X. Wei, C. Y. Xu, L. Y. Ma, L. N. Jiang, C. J. Jiang, F. S. Liu and Q. C. Zhang. Nutrient uptake of *Larix olgensis* seedlings in response to different exponential regimes. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(3): 0685-0690.
- [5] B. J. Hawkins, D. Burgess and A. K. Mitchell. Growth and nutrient dynamics of western hemlock with conventional or exponential greenhouse fertilization and planting in different fertility conditions. *Canadian Journal of Forest Research*, 2005, 35(4): 1002-1016.
- [6] H. J. Jia, T. Ingestad. A study on optimum nutrient requirements of *Paulownia elongata* and *Robinia pseudoacacia* seedlings. *Scientia Silvae Sinicae*, 1994, 16(4): 65-74.
- [7] R. K. Dumroese, D. S. Page-Dumroese, K. F. Salifu, et al. Exponential fertilization leaching fractions, and early outplanting performance of *Pinus monticola* seedlings: Nutrient uptake efficiency. *Canadian Journal of Forest Research*, 2005, 35(12): 2961-2968.
- [8] T. Ingestad, A. B. Lund. Theory and techniques for steady state-mineral nutrition and growth of plants. *Scand Journal of Forestry Research*, 1986, 1: 439-453.
- [9] V. R. Timmer. Exponential nutrient loading: A new fertilization technique to improve seedling performance on competitive sites. *New Forest*, 1996, 13: 275-295.
- [10] 吴吉林, 李永华, 叶庆生. 美丽异木棉光合特性的研究[J]. 园艺学报, 2005, 32(6): 1061-1064.
- [11] 吴吉林, 李永华, 叶庆生等. 美丽异木棉光合相关酶活性季节性变化[J]. 亚热带植物科学, 2008, 37(4): 12-14.
- [12] 潘文, 张晓珊, 丁晓纲等. 氮素营养对美丽异木棉等4个树种幼苗生长及光合特性的影响[J]. 中国农学通报, 2012, 28(31): 41-45.
- [13] B. J. Hawkins, D. Burgess and A. K. Mitchell. Growth and nutrient dynamics of western hemlock with conventional or exponential greenhouse fertilization and planting in different fertility conditions. *Canadian Journal of Forest Research*, 2005, 35(4): 1002-1016.
- [14] K. F. Salifu, V. R. Timmer. Optimizing nitrogen loading of *Picea mariana* seedlings during nursery culture. *Canadian Journal of Forest Research*, 2003, 33(7): 1287-1294.
- [15] M. Imo, V. R. Timmer. Vector diagnosis of nutrient dynamics in mesquite seedlings. *Forest Science*, 1997, 43(2): 1-6.
- [16] M. Imo, V. R. Timmer. Nitrogen uptake of mesquite seedlings at conventional and exponential fertilization schedules. *Soil Science Society of America Journal*, 1992, 56(3): 927-934.
- [17] 李芳兰, 包维楷. 植物叶片形态解剖结构对环境变化的响应与适应[J]. 植物学通报, 2005, 22(s): 118-127.