

## 不同供氮水平对4种桤木幼苗生长的影响

饶龙兵<sup>1</sup>, 李霞<sup>1,2</sup>, 段红平<sup>2</sup>, 陈益泰<sup>1\*</sup>

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400;

2. 云南农业大学资源与环境学院, 云南 昆明 650201)

关键词: 桤木; 桤木属; 氮水平; 生长反应; 生物量; 根系参数

中图分类号: S792.14

文献标识码: A

## Growing Responses of Four Exotic Alder Seedling under Different Nitrogen Concentrations

RAO Long-bing<sup>1</sup>, LI Xia<sup>1,2</sup>, DUAN Hong-ping<sup>2</sup>, CHEN Yi-tai<sup>1</sup>

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400, Zhejiang, China;

2. College of Resource and Environment, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, Yunnan, China)

**Abstract:** The experiment on four exotic alder including *Alnus glutinosa*, *A. rubra*, *A. nitida* and *A. incana* growing under four different concentrations of nitrogen was conducted in a greenhouse in order to research the alder's responses under different nitrogen concentrations and stresses. The results showed that the growing parameters of alder on the survival percent of transplanting, plant height, ground diameter, biomass, root-top ratio, relative content of chlorophyll (SPAD) and rooting parameters (length, superficial area, volume and tips of root) were significant among different materials and different nitrogen concentrations, the different level of nitrogen significantly affected the growth of alder. Specifically, the survival percent of transplanting went down with the going up of nitrogen concentration, and the plant height, ground diameter, relative content of chlorophyll and rooting parameters went up when nitrogen varied from 0 to 1/2 normal nitrogen, yet went down at one or two times of normal nitrogen (E. G. Bollard formula). The relative content of chlorophyll went up with the concentration of nitrogen increasing from 0 to 2 normal nitrogen, and its trend during one year period showed rising firstly and then descending. The relationship between the value of SPAD and biomass did not appear positive correlation. The appropriate concentration for growing on alder was 1/2 normal nitrogen. The order of performance of growth among the four alder was *Alnus glutinosa*, *A. rubra*, *A. nitida* and *A. incana*. So, *A. glutinosa* and *A. rubra* potentially could be used as plantation trees of ecological protection and short-rotation lumber in the beach and low hills of middle and lower reaches of Yangtze River.

**Key words:** alder; *Alnus genus*; nitrogen concentration; growing responses; biomass; root parameter

桤木属 (*Alnus* Mill.) 植物为桦木科 (Betulaceae) 落叶乔木, 典型的木本非豆科 (Leguminosae) 固氮树种, 主要分布于北半球寒温带、温带和亚热带地区。全世界大约有 40 余种, 我国有 11 种。桤木属

植物生长迅速, 其叶含氮量高, 为良好的优质天然肥料和饲料树种; 木材用途广, 为优质的建筑、家具和造纸用材树种<sup>[1-2]</sup>; 其适应性广, 喜温、喜湿、耐水和耐瘠薄, 是重要的生态防护树种<sup>[3]</sup>。近些年来, 桤木

收稿日期: 2011-07-14

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目 (RISF6929)

作者简介: 饶龙兵 (1973—), 男, 湖北天门人, 助理研究员, 主要从事林木遗传改良研究。

\* 通讯作者: 陈益泰 (1942—), 男, 江苏江都人, 研究员, 主要从事林木遗传改良研究。E-mail: ytc.yalin@yahoo.com.cn

已成为长江流域丘陵山地水土保持林、退耕还林、江湖滩地防护林和短周期工业用材林的重要造林树种。

在短周期工业原料林培育过程中,适当施肥是一项重要的培育措施。由于桉木属植物自身具有固氮特性,其氮素营养需求与其它树种明显不同,培育过程中施肥措施显得更为复杂。桉木自身固氮量能否满足速生丰产的需要?外施氮肥对自身固氮和生长有何影响?固氮与施氮该如何协调?桉木不同材料间对外源氮肥的耐受性和利用差异如何等等,有关此类问题,国内外研究报道较少。为此,本文以国外红桉木(*A. rubra* Bong)、喜马拉雅灰桉木(*A. nitida* (Spach) Endl.)、欧洲桉木(*A. glutinosa* (L.) Gaertner)、灰桉木(*A. incana* (L.) Moench)为材料,通过苗期温室沙培试验,探讨4种国外桉木属植物对不同供氮水平的响应差异,了解氮胁迫条件下桉木属植物苗期的生长适应性,对试验材料进行早期初步筛选,以期为我国工业用材林、生态林建设丰产培育和良种选育提供新的思路。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

供试材料为国外引种的4种桉木属树种,红桉

木引自美国,喜马拉雅灰桉木引自印度,欧洲桉木引自匈牙利,灰桉木引自意大利。试验在浙江富阳中国林科院亚热带林业研究所实验大棚内进行。地理位置为 $120^{\circ}19'E, 30^{\circ}12'N$ ,地处亚热带季风湿润气候区,历年平均气温 $16.2^{\circ}C$ ,7月平均气温 $28.6^{\circ}C$ ,最高气温 $37.5^{\circ}C$ ;1月平均气温 $3.7^{\circ}C$ ,极端最低气温 $-11^{\circ}C$ 。历年平均降水量 $1421.2\text{ mm}$ 。棚内平均温度约 $24^{\circ}C$ ,相对湿度75%以上,日光照 $12\sim 13\text{ h}$ 。

### 1.2 试验设计

沙培试验按不同植物材料与氮素2因素裂区设计。以不添加氮素(编号 $N_0$ )、1/2标准N(编号 $N_{1/2}$ )、标准N(编号 $N_1$ )、2倍标准N(编号 $N_2$ )4个水平为主处理,材料为副处理,3次重复,共裂分为48个小区,每小区7杯,每杯1株。培养基质为河沙。桉木种子于2010年5月上中旬播于苗床,正常生长,40d后将生长一致的桉木幼苗根系冲洗干净,移至装有河沙的有孔塑料杯,每杯1株。经过约20d的无营养胁迫生长(期间喷雾供水),于7月29日开始处理,每隔2d浇1次营养液( $20\text{ mL}\cdot\text{株}^{-1}$ )(期间喷雾供水)。营养液采用E. G. Bollard大量元素配方<sup>[4]</sup>(表1)和Arnon微量元素配方。12月2日终止处理,12月16日实验结束。

表1 氮处理营养液成分

营养元素	无氮处理( $N_0$ )	低氮处理( $N_{1/2}$ )	标准氮处理( $N_1$ )	高氮处理( $N_2$ )
$\text{KNO}_3$	—	—	0.002	—
$\text{K}_2\text{HPO}_4$	0.001	0.001	0.001	0.001
$\text{NH}_4\text{NO}_3$	—	—	0.002	0.012
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	—	0.002	0.003	0.002
$\text{K}_2\text{SO}_4$	0.001	0.001	—	0.001
$\text{MgSO}_4$	0.002	0.002	0.002	0.002
$\text{CaSO}_4$	0.002	—	—	—
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	—	0.002	0.002	0.002

注:N、P、K、Mg、Ca、S的标准水平分别为224、31、156、48、80、160 $\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ;每个处理水平中 $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^- = 1:1$ 。

### 1.3 测定内容与与方法

1.3.1 叶绿素相对含量测定 叶片叶绿素含量用CCM200型手持叶绿素仪(美国CID公司生产)测定。处理后1个月开始测定,每个月测定1次,共4次;每种材料不同的供N水平取样3株;于上午8:00—11:00,每株夹取中上部5个功能叶测定叶绿素相对含量(SPAD),取平均值。

1.3.2 生长指标的测定 株高、地径于实验结束时测定1次。

1.3.3 根系形态指标测定 实验结束时测定。植物根系洗净后,每种材料不同的供N水平取12株,用双光源扫描仪扫描。根系形态参数(根长、根表面积、根体积、根尖数)通过图片用根系分析软件WinRHIZO Pro 2005b(加拿大Regent Instruments公司生产)分析,取平均值。

1.3.4 生物量测定 植物样品收获后,分根、茎、叶3部分 $105^{\circ}C$ 杀青30min, $75^{\circ}C$ 烘干3d后称其干质量。

## 1.4 数据处理与分析

用 Microsoft Excel 2003 软件进行简单的数据处理,采用 DPS7.05 软件进行方差分析,用 Origin7.5 软件进行绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 供 N 水平与不同桉木幼苗生长适应性

**2.1.1 不同供 N 水平对幼苗成活率的影响** 图 1 为  $N_0$ 、 $N_{1/2}$ 、 $N_1$  和  $N_2$  水平下 4 种桉木幼苗的成活率。方差分析表明:处理后,桉木的成活率在不同种间和处理间差异显著( $p < 0.05$ ,  $LS_D$ )。各桉木幼苗种间成活率比较:红桉木、欧洲桉木 > 喜马拉雅灰桉木 > 灰桉木,各水平条件下,欧洲桉木、红桉木成活率最高,为 100%,其次是喜马拉雅灰桉木均大于 60%,灰桉木除  $N_0$ 、 $N_{1/2}$  处理外均小于 55%; 4 个桉木幼苗成活率在处理间具有相同的变化规律: $N_0 > N_{1/2} > N_1 > N_2$ , N 浓度越高成活率降低。

**2.1.2 不同供 N 水平对幼苗株高、地径的影响** 幼苗生长状况是幼苗生理状况、遗传特性与生存环境条件互相作用的外在表现,在一定程度上反应了幼苗与环境的适应性。方差分析可知(图 2):不同 N

处理水平下,4 种桉木幼苗株高和地径总体上表现为在  $N_{1/2}$  水平下生长好于其它 3 种氮素水平, N 缺乏或过量都会影响桉木幼苗的生长。4 个 N 浓度处理下,红桉木和欧洲桉木株高差异不显著,生长表现良好,灰桉木表现最差;  $N_{1/2}$ 、 $N_1$  和  $N_2$  处理时,欧洲桉木和红桉木地径显著大于喜马拉雅灰桉木和灰桉木,而在  $N_0$  时差异不显著。由于  $N_2$  水平下浓度过高,灰桉木有部分植株死亡,已不适宜分析作图,故缺失。

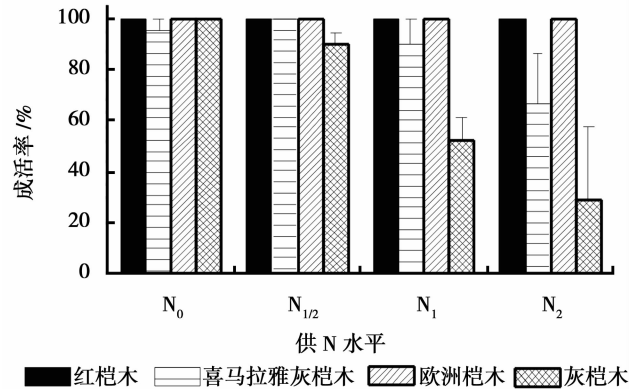


图 1 不同供 N 水平下 4 种桉木幼苗的成活率

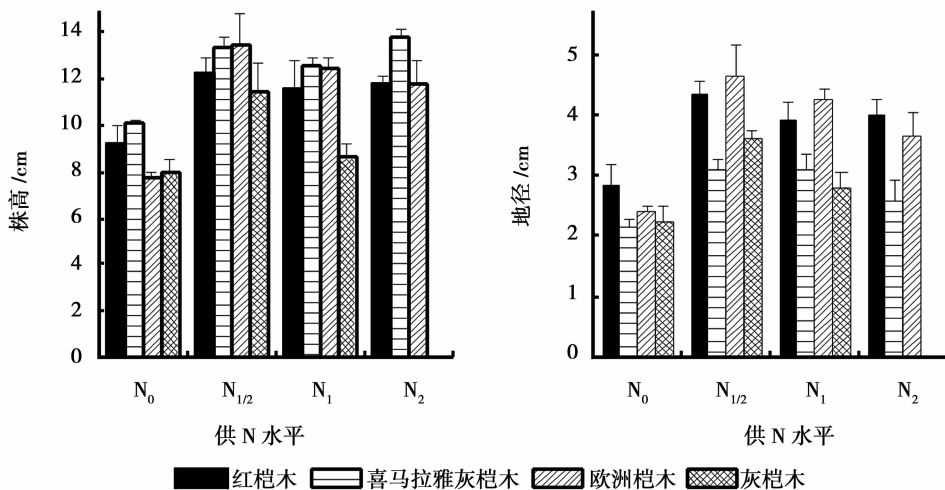


图 2 不同供 N 水平下 4 种桉木幼苗的株高、地径

**2.1.3 供 N 水平对桉木幼苗生物量的影响** 表 2 为不同 N 处理水平下 4 个桉木幼苗叶、茎、根生物量和总生物量、根冠比的比较。方差分析表明(表 3):不同桉木幼苗间和不同氮素水平间根、茎、叶生物量和总生物量差异显著。各桉木幼苗均随 N 浓度的增加生物量呈现先增加后逐渐降低的趋势,  $N_0$  时总生物量显著低于其它水平,而  $N_{1/2}$  时生物量最高,  $N_1$ 、

$N_2$  时差异不显著。  $N_{1/2}$  时,欧洲桉木、红桉木、灰桉木、喜马拉雅灰桉木总生物量比  $N_0$  水平总生物量分别提高了 74.10%、80.27%、71.26%、59.21%;  $N_{1/2}$  时,欧洲桉木、红桉木、喜马拉雅灰桉木总生物量比  $N_2$  水平总生物量分别提高了 61.15%、27.81%、46.16%。各桉木幼苗间总生物量在  $N_0$  时差异不显著,  $N_{1/2}$ 、 $N_1$ 、 $N_2$  时,红桉木和欧洲桉木总生物量显著

高于喜马拉雅灰桉木和灰桉木,灰桉木为最低。欧洲桉木、红桉木总生物量在  $N_1$  时分别比喜马拉雅灰桉木、灰桉木提高了 51.24%、61.98% 和 44.34%、56.60%,  $N_2$  时比喜马拉雅灰桉木提高了 49.5%、54.78%,且在  $N_2$  水平时灰桉木可能受高氮胁迫大

部分植株已死亡。由此可知,适量供应氮素能显著提高这4个桉木幼苗的生物量,且各桉木在低氮环境中具有较好的生长状况,而高氮环境较低氮环境生长较差,不利于植物生长,其中, $N_2$  处理的灰桉木死亡较多,耐高氮能力最差。

表2 不同供N水平下4种桉木幼苗的生物量与根冠比

种名	供N水平	单株叶干质量/g	单株茎干质量/g	单株根干质量/g	总生物量/g	根冠比
红桉木	$N_0$	0.06 ± 0.02fg	0.13 ± 0.06fgh	0.09 ± 0.01fg	0.29 ± 0.07fgh	0.47
	$N_{1/2}$	0.30 ± 0.04a	0.55 ± 0.07ab	0.62 ± 0.06ab	1.47 ± 0.15ab	0.73
	$N_1$	0.25 ± 0.08abcd	0.39 ± 0.12bcd	0.41 ± 0.18bcd	1.06 ± 0.37bcd	0.64
	$N_2$	0.30 ± 0.06ab	0.40 ± 0.11bcd	0.46 ± 0.10bc	1.15 ± 0.27bc	0.66
喜马拉雅灰桉木	$N_0$	0.08 ± 0.03fg	0.14 ± 0.04fgh	0.09 ± 0.03fg	0.31 ± 0.08fgh	0.41
	$N_{1/2}$	0.20 ± 0.06bcde	0.34 ± 0.10cde	0.22 ± 0.05def	0.76 ± 0.22cdef	0.41
	$N_1$	0.16 ± 0.05def	0.27 ± 0.09def	0.16 ± 0.06efg	0.59 ± 0.21defg	0.37
	$N_2$	0.13 ± 0.06ef	0.24 ± 0.08defg	0.14 ± 0.07fg	0.52 ± 0.20efg	0.38
欧洲桉木	$N_0$	0.08 ± 0.06fg	0.13 ± 0.10fgh	0.22 ± 0.15def	0.43 ± 0.30efgh	1.04
	$N_{1/2}$	0.33 ± 0.15a	0.58 ± 0.22a	0.76 ± 0.32a	1.66 ± 0.68a	0.84
	$N_1$	0.28 ± 0.03abc	0.47 ± 0.07abc	0.47 ± 0.09bc	1.21 ± 0.18abc	0.64
	$N_2$	0.28 ± 0.10abc	0.37 ± 0.17cd	0.39 ± 0.25cd	1.03 ± 0.51bcd	0.60
灰桉木	$N_0$	0.06 ± 0.03fg	0.09 ± 0.03gh	0.10 ± 0.04fg	0.25 ± 0.10gh	0.67
	$N_{1/2}$	0.19 ± 0.06cde	0.33 ± 0.10cde	0.35 ± 0.11cde	0.87 ± 0.26cde	0.67
	$N_1$	0.12 ± 0.01ef	0.19 ± 0.03efg	0.15 ± 0.02efg	0.46 ± 0.05efgh	0.48
	$N_2$	—	—	—	—	—

注:表中同一列不同字母表示不同处理下各桉木幼苗生物量的差异显著( $P < 0.05$ ,  $LSD$ ), - 表示植株收获时大部分死亡,下同。

表3 不同供N水平下桉木幼苗SPAD、株高、地径、生物量和根系形态参数的差异显著性F检验

项目	变异来源	叶绿素相对含量 (SPAD)	株高	地径	生物量				根系形态参数			
					单株根	单株茎	单株叶	整株	根长	根表面积	根体积	根尖数
整区	N处理	2.46**	0.72	1.92	8.29**	12.08**	7.33*	9.82**	24.86*	25.09**	21.05**	12.07**
裂区	种源	21.12	9.21**	11.92**	9.29**	7.78**	6.20**	8.51**	8.94**	9.37**	8.51**	7.25**
	种源 × N处理	8.29**	21.83**	12.09**	1.98	1.78	2.57*	1.96	4.13**	4.08**	3.72**	4.44**

注: \*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$ , 下同。

植物根冠比可以较好地反应植物对外在营养条件的需求。当外在土壤养分供应不足或植物吸收不足时,植物会分配更多物质到根部,促进根部生长,提高吸收能力,满足养分吸收需要;当植物根部土壤养分供应充足或对养分吸收充足时,植物将更多干物质分配到地上部,满足枝叶和茎干的生长。生长旺盛的植物具有合适的根冠比。由表2可以看出:不同N浓度对桉木属幼苗生物量的分配有明显影响。桉木幼苗在  $N_{1/2}$  时具有较合适的生物量和根冠比,4种桉木在N浓度从  $N_{1/2}$ — $N_1$ — $N_2$  变化过程中,随N浓度增加根冠比都呈现降低趋势。在无氮处理时,欧洲桉木具有比其它3种桉木更大的根系生物量和总生物量,说明在较低营养条件下,欧洲桉木自身具有较好的生长和固氮特性。

## 2.2 供N水平对桉木幼苗叶绿素相对含量 (SPAD) 的影响

试验中, $N_0$  水平处理的不同桉木幼苗出现了不同程度的叶色变黄,随着N浓度的增加颜色逐渐加深变绿。N处理、不同桉木及其交互作用间叶绿素相对含量 (SPAD) 均存在极显著差异 (表3)。随N水平的增加,在一定范围内各桉木幼苗的叶绿素相对含量均呈上升趋势。由图3可知:4种桉木幼苗的SPAD值在不同时期基本呈现升高—降低的趋势,且在10月份达到最高值;随着N浓度的增加,4种桉木幼苗的SPAD值也相应增加;不同桉木幼苗叶绿素相对含量对氮的响应具有一定差异,其中,喜马拉雅灰桉木各时期各N浓度的SPAD值均大于红桉木、欧洲桉木和灰桉木,而这3种桉木间差异不显

著。尽管喜马拉雅灰桤木各时期的 SPAD 值均高于其它桤木,但从生物量上分析,喜马拉雅灰桤木并没

有最大的生物量,由此可看出,不同桤木的 SPAD 值与其生物量之间并非存在正相关关系。

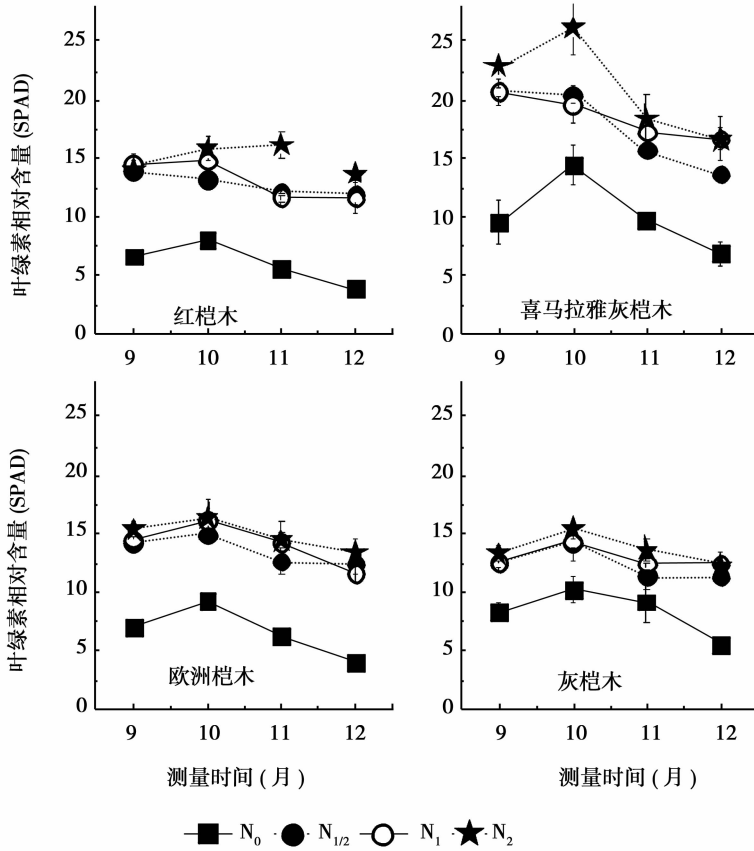


图3 不同供N水平下4种桤木幼苗SPAD的变化

### 2.3 供N水平对桤木幼苗根系形态的影响

根系是植物吸收养分的主要器官,其在土壤中的分布与植物养分吸收效率密切相关。不同供N水平下,4种桤木属植物根系形态参数见表4。N处理、不同桤木幼苗及其交互作用间根系形态参数(根长、根表面积、根体积、根尖数)均存在极显著差异(表3)。根长、根表面积和根尖数在各处理水平下变化规律相同:欧洲桤木>红桤木>灰桤木>喜马拉雅灰桤木。随着N浓度的增加,根系形态参数呈现升高一降低的趋势,且N<sub>1/2</sub>水平处理的根长、根表面积、根体积、根尖数均显著高于其它水平,其中欧洲桤木的根长、根表面积、根体积和根尖数分别为668.23 mm、88.69 cm<sup>2</sup>、0.95 cm<sup>3</sup>和2 920个,表现最好;喜马拉雅灰桤木表现最差,分别为308.67 mm、44.58 cm<sup>2</sup>、0.51 cm<sup>3</sup>、1 272个(表4)。

不同桤木幼苗在不同N处理水平下不同径级的

根系长度见表5。根系长度主要集中在0.0~0.5 mm和0.5~1.0 mm 2个径级,1~2 mm和>2 mm 2个径级根系长度所占比例很小,特别是>2 mm径级。N处理、不同桤木幼苗及其交互作用间0.0~0.5、0.5~1.0、1.0~2.0 mm径级的根系长度均存在显著差异(表6)。各桤木幼苗,N<sub>0</sub>水平下,0.0~0.5 mm径级根系长度比例在88%以上,均显著高于其它处理水平;N<sub>1/2</sub>水平下,根系长度比例在75%以上,欧洲桤木最高,为81%;N<sub>1</sub>、N<sub>2</sub>水平下,根系长度比例在70%以上,由此可以看出,随着N水平的增加,桤木幼苗细根所占比例降低。

综合表4、5可以看出:4种桤木幼苗在N<sub>1/2</sub>时具有适宜的根系形态参数(根长、根表面积、根体积、根尖数),随着N浓度的增加,根系形态参数降低,新根的生长受到明显抑制。4种桤木幼苗根系形态参数分析表明:欧洲桤木根系生长好于其它3种桤木。

表4 不同供N水平下4种桉木幼苗根系形态参数

种名	供N水平	根长/mm	根表面积/cm <sup>2</sup>	根体积/cm <sup>3</sup>	根尖数/个
红桉木	N <sub>0</sub>	314.84 ± 64.91cd	27.65 ± 7.03ef	0.19 ± 0.07def	1 801 ± 310cd
	N <sub>1/2</sub>	614.33 ± 156.16a	90.20 ± 28.92a	1.07 ± 0.43a	2 532 ± 727ab
	N <sub>1</sub>	309.38 ± 127.65cd	49.50 ± 23.48bcd	0.64 ± 0.36b	1 575 ± 441def
	N <sub>2</sub>	242.85 ± 102.74def	39.69 ± 19.81de	0.52 ± 0.31bc	1 353 ± 373ef
喜马拉雅灰桉木	N <sub>0</sub>	161.60 ± 39.24fg	14.24 ± 3.65g	0.10 ± 0.03fg	1 266 ± 224fg
	N <sub>1/2</sub>	308.67 ± 80.53cd	44.58 ± 13.08cd	0.51 ± 0.18bc	1 272 ± 313fg
	N <sub>1</sub>	184.72 ± 80.56efg	28.67 ± 15.05ef	0.36 ± 0.23cd	856 ± 188gh
	N <sub>2</sub>	100.88 ± 38.12g	15.73 ± 7.50fg	0.21 ± 0.15def	728 ± 210h
欧洲桉木	N <sub>0</sub>	262.49 ± 53.72de	23.28 ± 5.44fg	0.16 ± 0.05efg	1 949 ± 579cd
	N <sub>1/2</sub>	668.23 ± 283.94a	88.69 ± 33.59a	0.95 ± 0.34a	2 920 ± 1 181a
	N <sub>1</sub>	351.68 ± 67.14c	54.06 ± 14.61bc	0.67 ± 0.25b	1 740 ± 233de
	N <sub>2</sub>	208.12 ± 80.44ef	28.49 ± 15.16ef	0.32 ± 0.22de	1 311 ± 223ef
灰桉木	N <sub>0</sub>	237.84 ± 108.24def	19.59 ± 10.87fg	0.12 ± 0.08fg	1 539 ± 453def
	N <sub>1/2</sub>	481.00 ± 151.85b	60.90 ± 20.91b	0.62 ± 0.27b	2 225 ± 646bc
	N <sub>1</sub>	163.78 ± 50.43fg	19.07 ± 8.25fg	0.18 ± 0.11def	1 304 ± 1 241ef
	N <sub>2</sub>	—	—	—	—

表5 不同供N水平下4种桉木幼苗不同径级根系长度

种名	供N水平	根系径级/mm			
		0.0~0.5	0.5~1.0	1.0~2.0	>2.0
红桉木	N <sub>0</sub>	279.83 ± 58c	25.70 ± 8fg	6.59 ± 3fgh	1.69 ± 1cde
	N <sub>1/2</sub>	470.55 ± 116a	91.49 ± 32a	37.64 ± 14a	13.37 ± 7a
	N <sub>1</sub>	223.21 ± 90cd	51.64 ± 30cd	25.32 ± 11b	8.43 ± 4abc
	N <sub>2</sub>	171.05 ± 64def	43.34 ± 34de	20.54 ± 10bc	7.25 ± 3abcd
喜马拉雅灰桉木	N <sub>0</sub>	143.93 ± 37ef	12.40 ± 4gh	3.65 ± 1gh	1.02 ± 1de
	N <sub>1/2</sub>	232.27 ± 57cd	54.05 ± 23cd	16.64 ± 5cd	5.00 ± 2bede
	N <sub>1</sub>	128.63 ± 50fg	40.85 ± 30def	11.87 ± 7def	2.81 ± 1cde
	N <sub>2</sub>	71.05 ± 33g	18.61 ± 12g	8.62 ± 5efg	2.34 ± 2cde
欧洲桉木	N <sub>0</sub>	231.42 ± 48cd	23.66 ± 7efg	5.39 ± 3fgh	1.18 ± 1de
	N <sub>1/2</sub>	538.94 ± 247a	79.38 ± 32g	34.50 ± 12a	13.95 ± 6a
	N <sub>1</sub>	259.56 ± 45c	58.21 ± 21cd	23.32 ± 9bc	9.65 ± 4ab
	N <sub>2</sub>	164.56 ± 60def	25.92 ± 17efg	12.15 ± 5def	4.88 ± 4bcde
灰桉木	N <sub>0</sub>	213.19 ± 94cde	18.34 ± 11g	4.47 ± 3fgh	0.86 ± 1de
	N <sub>1/2</sub>	385.32 ± 126b	65.06 ± 29bc	22.96 ± 10bc	6.41 ± 3bcde
	N <sub>1</sub>	136.44 ± 41fg	23.92 ± 25fg	15.42 ± 28cde	11.45 ± 33ab
	N <sub>2</sub>	—	—	—	—

表6 不同供N水平下桉木幼苗不同径级根系长度差异显著性F检验

项目	变异来源	根系径级/mm			
		0.0~0.5	0.5~1.0	1.0~2.0	>2.0
整区	N处理	23.89**	30.58**	19.36**	7.86
裂区	种源	8.35**	7.87**	7.12**	2.78**
	种源×N处理	4.37**	1.99*	2.57**	1.342

### 3 结论与讨论

#### 3.1 氮素营养对桉木幼苗生长适应性的影响

氮是植物体内蛋白质、叶绿素和光合产物合成的重要矿质元素,在植物生长发育过程中起着重要作用。一般而言,在氮缺乏的环境下,适当增加氮营养的供应能促进植物的生长,反之,氮营养供应过量

时,则会抑制植物的生长<sup>[5]</sup>。对于具有自身固氮特性的植物,需要平衡施氮和固氮这一矛盾,才能既发挥植物固氮作用,又能让外施氮素有效吸收。如何平衡固氮与施氮,在豆科植物和桉木属等植物研究具有重要意义。从本试验研究结果看,桉木幼苗适宜的外施氮的浓度在 1/2 标准氮(标准氮为 E. G. Bollard 大量元素配方标准氮,224 mg · L<sup>-1</sup>),折算值为 112 mg · L<sup>-1</sup>。随着外施氮浓度增加,桉木幼苗成活率、株高、地茎、根系、生物量等生长指标都降低,不同桉木材料表现的总体趋势相同,但不同桉木材料之间也表现出差异。从成活率看,欧洲桉木和红桉木即使在低氮和高氮处理时成活率都达到 100%,说明这两种桉木耐贫瘠和耐肥性较强;其它 2 种桉木低氮和高氮处理后成活率都受一定程度的影响。从株高、地茎、根系、生物量等生长指标看,与喜马拉雅灰桉木和灰桉木相比,欧洲桉木和红桉木在 1/2 标准氮时,其生物量较大,生长较好。

### 3.2 氮素营养对桉木幼苗根冠比的影响

氮的供应状况也影响着植物对碳同化物质的分配格局<sup>[6]</sup>。在一定范围内,增加氮素供应可以促进地上部和根系的生长,但往往对地上部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,而这种分配格局的调节因植物而不同。本试验研究表明,随着氮浓度的增加,幼苗根冠比逐渐下降,与白尚斌<sup>[7]</sup>等对北美红杉(*Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl.) 幼苗和彭明俊<sup>[8]</sup>等对膏桐(*Jatropha curcas* Linn.) 幼苗的研究结果一致;本试验中不同桉木幼苗根、茎、叶各部分生物量的分配不相同,表明桉木幼苗生长特性很大程度受自身遗传特性的影响。在无氮处理时,欧洲桉木根系生物量绝对值和根冠比值较大,优于红桉木、喜马拉雅灰桉木及灰桉木,说明欧洲桉木在低营养环境时自身根系生长较好,根系拓殖力较强,植株养分吸收和生长都好于其它 3 种桉木。红桉木在无氮处理时根系生物量和喜马拉雅灰桉木及灰桉木一样都较低,但在有氮处理后,红桉木根系生长明显好于喜马拉雅灰桉木及灰桉木,说明红桉木根系生长对养分比较敏感。喜马拉雅灰桉木和灰桉木根系生物量较小,总生物量也较小,生长较次。

### 3.3 氮素营养对桉木幼苗叶绿素含量的影响

氮素是叶绿素的重要组成成分,在植物光合能力中起着关键作用<sup>[9]</sup>。SPAD 值可以快速反映植物的绿素程度或叶绿素的相对含量。姜丽芬<sup>[10]</sup>等研

究表明:叶绿素含量与 SPAD 值具有显著的线性相关关系,能较好地反映林木叶绿素含量的变化趋势。冷华妮等<sup>[11]</sup>、汤继华等<sup>[12]</sup>研究表明:随氮水平的增加,在一定范围内植物的叶绿素相对含量均呈上升趋势。本试验中,桉木不同时期 SPAD 值均呈现先增高后降低的总体趋势,主要由于氮素处理后叶绿素含量得到相应提高,因此 SPAD 值增加;在 10 月份以后,由于植物缓慢进入休眠期,因此 SPAD 值呈现下降趋势。从不同桉木材料间 SPAD 值比较而言,喜马拉雅灰桉木不同时期的 SPAD 值均高于其它桉木,在 4 种桉木中具有最高的叶绿素含量,但该种桉木总生物量和生长状况却不是最好,由此可看出,不同桉木材料 SPAD 值有差异,而且并非 SPAD 值高的桉木生物量高、生长好,SPAD 值受自身的遗传特性影响较大。

### 3.4 氮素营养与桉木幼苗根系形态的关系

植物根系与土壤养分吸收利用效率有着密切的关系,在养分摄取过程中起了决定性的作用<sup>[13]</sup>。氮素营养供给会导致苗木整体根系形态发生显著变化。J. S. King<sup>[14]</sup>等采用盆栽法对火炬松(*Pinus taeda* L.) 和美国黄松(*P. ponderosa* Dougl. ex Laws.) 幼苗研究表明,施氮肥根表面积、直径和总长度增加;陈海波<sup>[15]</sup>等研究低氮到高氮时水曲柳(*Fraxinus mandschurica* Rupr.) 苗木整株根系总面积、总长度和比根长(根长度/根质量)增加;而本试验研究表明,随着氮浓度的增加,桉木幼苗的根长、根表面积、根体积、根尖数相应增加,且在 N<sub>1/2</sub> 水平时具有最大值,当氮浓度从 N<sub>1/2</sub> 增加到 N<sub>1</sub>、N<sub>2</sub> 时,各根系形态参数又逐渐降低,说明桉木适宜的氮浓度为 N<sub>1/2</sub> 标准浓度,氮素过高或过低对桉木生长都不利。

### 3.5 桉木树种特性、外施氮肥与结瘤关系

桉木自身具有固氮特性,其固氮能力的高低和品种特性、环境养分条件有关。本试验观察到,无氮、低氮、标准氮处理的幼苗根系上有少量根瘤,而高氮处理的幼苗根系上基本未见根瘤。红桉木、欧洲桉木在低氮和标准氮处理时,都具有较高的结瘤率,分别为 57%、67% 和 67%、76%,而喜马拉雅灰桉木和灰桉木结瘤率较低,均小于 30%。由此可见,桉木品种间和氮素环境均影响桉木的结瘤。氮素处理影响结瘤的现象在豆科作物中也有类似状况。王树起等<sup>[16]</sup>研究施氮对大豆(*Glycine max* (L.) Merr.) 根瘤生长时发现,随着氮用量的增加,根瘤数量呈先增后降的趋势,与本试验结果相似。

从本试验结果看,欧洲桉木和红桉木结瘤和耐氮能力均好于喜马拉雅灰桉木和灰桉木,通过培育或筛选氮高效、生长好的桉木树种在桉木育种中具有重要意义,这也是下一步研究的努力方向。

### 参考文献:

- [1] 周小玲,田大伦,许忠坤,等. 中亚热带四川桉木与台湾桉木幼林的光合生态特性[J]. 中南林业科技大学学报:自然科学版,2007,27(1):40-49
- [2] 刘贤词,文仕知,冯汉华,等. 四川桉木人工林不同年龄段生物量的研究[J]. 中南林业科技大学学报:自然科学版,2007,27(2):83-86
- [3] 王军辉,顾万春,夏良放,等. 桉木种源(群体)家系材性性状的遗传变异[J]. 林业科学研究,2001,14(4):362-368
- [4] 毛达如. 植物营养研究方法[M]. 北京:中国农业大学出版社,2005:1-30
- [5] 范志强,王政权,吴楚,等. 不同供氮水平对水曲柳苗木生物量、氮分配及其季节变化的影响[J]. 应用生态学报,2004,15(9):1497-1501
- [6] Farrar J F, Jones D L. The control of carbon acquisition by roots[J]. New Phytol,2000,147:43-53
- [7] 白尚斌,王懿祥,左显东,等. 北美红杉幼苗对不同供N水平的生长反应[J]. 林业科学研究,2005,18(5):561-566
- [8] 彭明俊,郎南军,吴涛,等. 不同供氮水平对青桐幼苗生长的影响[J]. 西北林学院学报,2010,25(3):97-100
- [9] Abrol Y P, Chatterjee S R, Kumar P A, et al. Improvement in nitrogen use efficiency: physiological and molecular approaches[J]. Curr Sci, 1999,76:1357-1364
- [10] 姜丽芬,石福臣,王化田,等. 叶绿素计 SPAD-502 在林业上应用[J]. 生态学杂志,2005,24(12):1543-1548
- [11] 冷华妮,陈益泰,段红平,等. 枫香种源生物量和 NRA 对供氮水平的响应差异[J]. 林业科学研究,2009,22(2):190-195
- [12] 汤继华,谢惠玲,黄绍敏,等. 缺氮条件下玉米自交系叶绿素含量与光合效率的变化[J]. 华北农学报,2005,20(5):10-12
- [13] 张福锁. 土壤与植物营养研究新动态(第一卷)[M]. 北京:北京农业大学出版社,1992:73-82
- [14] King J S, Thomas R B, Strain B R. Morphology and tissue quality of seedling root systems of *Pinus taeda* and *Pinus ponderosa* as affected by varying CO<sub>2</sub>, temperature, and nitrogen[J]. Plant and Soil,1997,195:107-119
- [15] 陈海波,卫星,王靖,等. 水曲柳苗木根系形态和解剖结构对不同氮浓度的反应[J]. 林业科学,2010,46(2):61-66
- [16] 王树起,韩晓增,乔云发,等. 施氮对大豆根瘤生长和结瘤固氮的影响[J]. 华北农学报,2009,24(2):176-179