

氮水平对桤木属幼苗根系形态及氮累积利用影响^①

李 霞^{1,2}, 饶龙兵^{2*}, 郭洪英³, 段红平¹, 陈益泰²

(1 云南农业大学, 昆明 650201; 2 中国林科院亚热带林业研究所, 浙江富阳 311400; 3 四川林业科学研究院, 成都 610081)

摘 要: 采用温室沙培试验, 通过不同浓度氮处理, 研究红桤木、喜马拉雅灰桤木、欧洲桤木和灰桤木 4 种国外引种的桤木属幼苗对不同氮水平的响应差异, 分析了氮胁迫对桤木属幼苗根系形态和氮累积利用的影响。结果表明: 随着氮水平(N0、N1/2、N1(标准 E.G. Bollard 营养液)、N2)的增加, 各桤木属植物的生物量、氮累积量和根长、根体积、根表面积、须根数等生长参数均呈先增后降的趋势, 且在 N1/2 水平中各参数值最大; 细根比例及氮利用效率、氮利用率均呈持续下降趋势。参试的 4 种桤木中欧洲桤木、红桤木的生物量、氮累积量、根系形态参数均较高, 且在 N1/2 时氮利用率较高, 分别为 44.57%、40.14%, 具有在我国长江中下游地区作为生态防护和短周期工业用材树种推广应用潜力; 灰桤木和喜马拉雅灰桤木各生长参数均较低, 不宜推广。试验结果也表明尽管桤木属植物具有一定的固氮能力, 但在低地力河滩沙地、丘陵等地区集约化经营中仍需采取一定施肥措施。

关键词: 桤木属; 氮水平; 生物量; 根系形态参数; 氮累积量; 氮利用效率

中图分类号: S722

在矿质养分中, 氮是植物生长发育所必需的最大营养元素, 是植物体蛋白质、核酸、磷脂、叶绿素及有机氮化合物的构成成分。在自然生态系统中, 氮素一般较为缺乏, 特别是高山丘陵带。中国农业科学院土壤肥料研究所调查表明: 土壤中存在主要养分限制因子, 所有的土壤均缺氮, 67% 土壤缺磷, 76% 土壤缺钾, 因此培育能改良土壤养分条件、营养高效型和耐瘠薄林木优良品种一直是国内外研究的热点, 桤木在此方面具有较强优点。桤木属(*Alnus*)为桦木科(Betulaceae)落叶乔木, 典型的木本非豆科固氮树种, 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^[1]。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^[2]; 木材用途广, 为优质的建筑、家具和造纸用材树种^[3-4], 是适宜短周期经营的重要工业原料和能源树种; 其适应性广, 喜温、喜湿、耐水和耐瘠薄, 适生于丘陵山地和平原地区^[5]; 根部着生根瘤菌, 具有固氮作用, 对土壤有明显的改良效果, 因此又成为退耕还林和生态建设工程的先锋树种^[6-7]。近些年来, 桤木已成为长江流域丘陵山地水土保持林、混交林、江湖滩地防护林和短周期工业用材林的重要造林

树种。

目前有关桤木研究工作主要在光合、水分生理、蒸腾特性^[8-11], 固氮生理及根瘤放线菌^[12], 引种栽培及造林技术^[2, 6, 13]等方面。在林木短周期工业原料林培育过程中适当施肥是一项重要的丰产培育措施。对桤木而言, 由于桤木具有一定的固氮作用, 其氮素营养特性与其他树种明显不同, 施氮对桤木生长影响如何, 施氮与固氮如何平衡与协调等问题使得桤木培育过程中施肥措施显得更为复杂, 目前此方面研究报道甚少。鉴于此, 本文以红桤木、喜马拉雅灰桤木、欧洲桤木和灰桤木 4 种国外引种的桤木属植物为材料, 通过在浙江富阳进行苗期温室沙培试验, 探讨桤木属植物对氮水平的响应特性, 分析氮胁迫对桤木属植物苗期根系形态参数和氮累积利用的影响, 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 试验材料

试验在浙江富阳中国林科院亚热带林业研究所大棚内进行, 地理位置为 30°03' N, 119°57' E, 海拔

基金项目: 国家科技支撑项目(2012BAD01B0604)资助。

* 通讯作者(Raolb@163.com)

作者简介: 李霞(1986—), 女, 云南玉溪人, 硕士研究生, 主要开展植物与环境修复研究。E-mail: lxyn_311@163.com

12 m。棚内平均温度 28℃，相对湿度 75% 以上，日光照 12~13 h。供试材料为国外引种的 4 种桤木属植物，美国的红桤木(*Alnus rubra*)、印度的喜马拉雅灰桤木(*Alnus nitada*)、匈牙利的欧洲桤木(*Alnus glutinosa*)、意大利的灰桤木(*Alnus incana*)。

1.2 试验设计

沙培试验按不同植物材料与氮两因素裂区设计。以无氮(N0，不添加氮素)、低氮(N1/2，8 mmol/L)、标准氮(N1，16 mmol/L)、高氮(N2，32 mmol/L)各 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(多次水洗)。桤木种子于 2010 年 5 月上中旬播于苗床，正常生长，40 天后将生长一致的桤木幼苗根系冲洗干净，移至装有河沙的塑料杯(有孔)，每杯 1 株，置于一个长方形的平底塑料盆中，每个盆装 6 株，以减小由于养分流失带来的试验误差。经过约 20 天的无营养胁迫生长(期间喷雾供水)，于 7 月 29 日开始处理，每隔两天浇 1 次营养液(20 ml/株)(期间喷雾供水)。营养液采用 Bollard 大量元素配方^[14](表 1)和 Arnon 微量元素配方，调节 pH 为 5.6~6.0。12 月 2 日终止处理，12 月 16 日收获，期间共施氮 35 次，每株总施氮量 N0(0 g)、N1/2(0.078 4 g)、N1(0.156 8 g)、N2(0.313 6 g)。

表 1 氮处理营养液成分(mmol/L)
Table 1 Nutrition components in different nitrogen supplies

营养元素	无氮处理 (N0)	低氮处理 (N1/2)	标准氮处理 (N1)	高氮处理 (N2)
KNO ₃	—	—	2	—
K ₂ HPO ₄	1	1	1	1
NH ₄ NO ₃	—	—	2	12
(NH ₄) ₂ SO ₄	—	2	3	2
K ₂ SO ₄	1	1	—	1
MgSO ₄	2	2	2	2
CaSO ₄	2	—	—	—
Ca(NO ₃) ₂	—	2	2	2

注：N、P、K、Mg、Ca、S 的标准水平分别为 224、31、156、48、80、160 mg/L；每个处理水平中 NH₄⁺ NO₃⁻=1:1

1.3 测定内容与方法

1.3.1 叶绿素相对含量测定 叶片叶绿素含量用 CCM200 型手持叶绿素仪测定(CID Inc)，于 9 月中旬早上 8:00—11:00，每个处理每个桤木属植物随机夹取 5 个功能叶测定 SPAD 值，取平均值，重复 3 次。

1.3.2 生物量与氮、磷含量测定 植物样品收获后，分根、茎、叶 3 部分 105℃ 杀青 30 min，75℃ 烘干 3 天后称其干重。取样品各器官，参照 Lowther^[15]

的方法用 H₂SO₄-H₂O₂ 法消煮，依照 Mukherjee 和 Asanuma^[16]的方法测定各器官全磷含量，用全自动凯氏定氮仪测定全氮含量。相关计算方法：

单株根、茎、叶的养分累积量 = (根、茎、叶)干重 × (根、茎、叶)养分含量

氮利用效率 = 总生物量/氮累积量(单位吸收的氮量所产生的干物质量)^[17]

单株氮利用率 = 单株氮累积量/单株总施氮量

叶片氮/磷 = 叶片氮浓度/叶片磷浓度

叶片Δ氮/磷 = N0 时氮/磷 - N1 时氮/磷

1.4 数据处理与分析

用 Microsoft Excel 2003 进行简单的数据处理，采用 DPS7.05 进行方差分析，用 Origin7.5 软件进行绘图。采用 LSD 法进行处理间显著性检验。图中数据采用平均值 ± 标准误、表中数据采用平均值 ± 标准差表示。

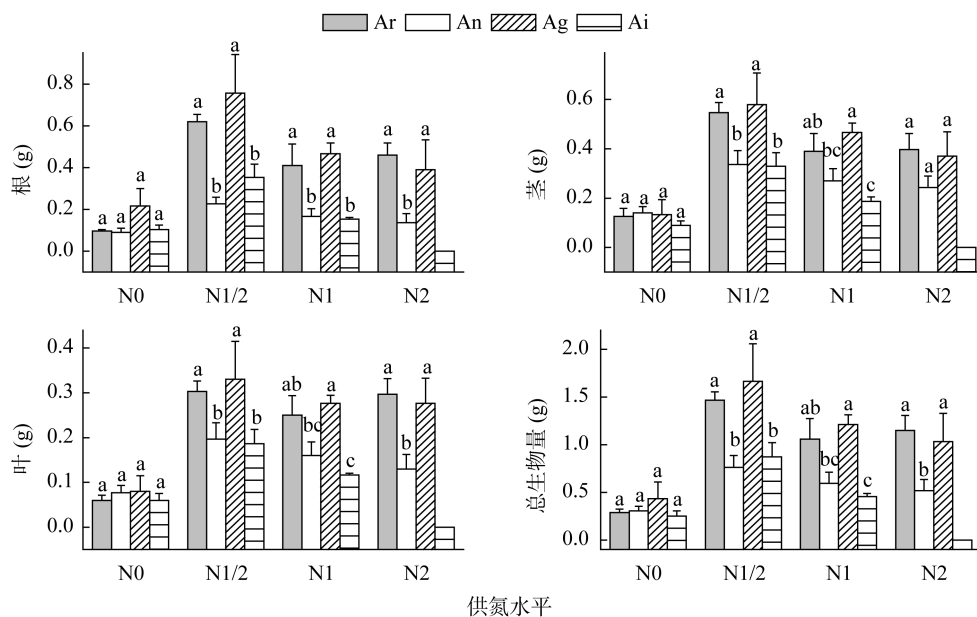
2 结果与分析

2.1 供氮水平对不同桤木属植物生物量及分配格局的影响

2.1.1 桤木生物量 图 1 为不同氮水平下不同桤木属植物的生物量分配。方差分析表明，不同氮水平和不同桤木属植物间根、茎、叶及总生物量差异显著。随着供氮水平增加，桤木生物量均表现为先上升后下降趋势，且在 N1/2 时总生物量最高，具体表现为 N1/2>N1>N2>N0。不同桤木材料间，N0 时各桤木总生物量无显著差异，N1/2、N1、N2 时，红桤木和欧洲桤木的总生物量显著高于喜马拉雅灰桤木和灰桤木，且灰桤木最低。

2.1.2 桤木根冠比 不同氮浓度对桤木属幼苗生物量的分配有明显影响。根冠比可具体说明植株所产生的干物质在地上部和地下部的分配情况。欧洲桤木和灰桤木、喜马拉雅灰桤木无氮条件下根冠比最大(图 2)，红桤木在 N1/2 时根冠比最大，随着氮水平的增加，桤木属幼苗根冠比总体呈下降趋势。供氮水平由 N0 增加到 N1 时，欧洲桤木根冠比变幅最大(45.13%)，喜马拉雅灰桤木根冠比变幅最小(10.39%)，说明氮素浓度对欧洲桤木的影响比对喜马拉雅灰桤木大，其他两种居中。植物根冠比能较好反映植物对外在营养条件的需求，较小的根冠比表明养分比较充足，而较大根冠比表明植物对养分处于需求状态，分配更多干物质到根系，促进根系对养分的吸收，根冠比是植物应对低氮胁迫的一种主动反应机制。

2.1.3 供氮水平对幼苗根系形态参数的影响 图 3



(Ar 表示美国红桤木、An 表示喜马拉雅灰桤木、Ag 表示欧洲桤木、Ai 表示灰桤木；
同一氮水平下字母不同表示不同桤木属植物间差异显著(LSD, $P < 0.05$), 下同)

图 1 不同氮水平下不同桤木属植物的生物量分配

Fig. 1 Biomass distributions of four exotic alder at different nitrogen levels

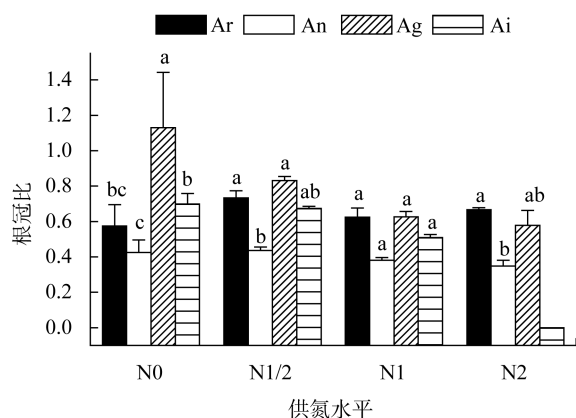


图 2 不同氮水平下不同桤木属植物的根冠比

Fig. 2 Root/shoot ratios of four exotic alder at different nitrogen levels

为不同氮水平下各桤木属植物根系形态参数变化图。方差分析可知,氮水平、不同桤木属植物及其交互作用间根系形态参数(根长、根表面积、根体积、须根数)均存在极显著差异。不同桤木属根系参数的多重比较可知:红桤木、欧洲桤木的根长、根体积、根表面积及须根数显著高于灰桤木和喜马拉雅灰桤木,且前者间无显著差异,后者除须根数外,其他 3 个参数间无显著差异。随着氮浓度的增加,根长、根表面积、根体积和须根数呈现先升高后降低的趋势。与 N0 相比, N1/2 时根长、根表面积、根体积、须根数分别提高了:红桤木 48.75%、69.34%、82.24%、28.87%,

欧洲桤木 60.72%、73.75%、83.16%、33.25%,喜马拉雅灰桤木 47.65%、68.06%、80.39%、0.47%,灰桤木 50.55%、67.83%、80.65%、30.83%, N1、N2 时,各参数升高幅度逐渐变缓,基本保持一致,保证了较好的吸收梯度。

不同桤木属植物在不同氮处理水平下不同径级的根系长度由表 2 所示。根系长度主要集中在 0~0.5 mm 和 0.5~1 mm 两个径级, 1~2 mm 和 >2 mm 两个径级根系长度所占比例很小,特别是 >2 mm 径级。方差分析表明,氮水平、不同桤木属植物及其交互作用间 0~0.5、0.5~1、1~2 mm 径级的根系长度均存在显著差异。不同氮水平下,直径在 0~0.5 mm 的根系长度占总根长的比例顺序为: N0>N1/2>N1>N2,说明随着氮水平的增加,细根比例降低; 0~0.5、1~2、>2 mm 径级的根系长度具有相同的变化规律: N1/2>N1>N2>N0,说明粗根长度在 N0 时最小, N1/2 时最大,随着氮浓度的增加而呈降低的趋势。不同氮处理时各材料间各径级的根长总量表现为红桤木、欧洲桤木均大于灰桤木、喜马拉雅灰桤木,且前两者间无显著差异。

2.2 不同供氮水平下桤木根、茎、叶的氮、磷含量

桤木体内氮含量随器官、外源氮素环境以及不同桤木而异(表 3)。本试验测试分析表明桤木叶部含氮量为 10.81~29.22 g/kg,根部含氮量 8.56~32.45 g/kg,

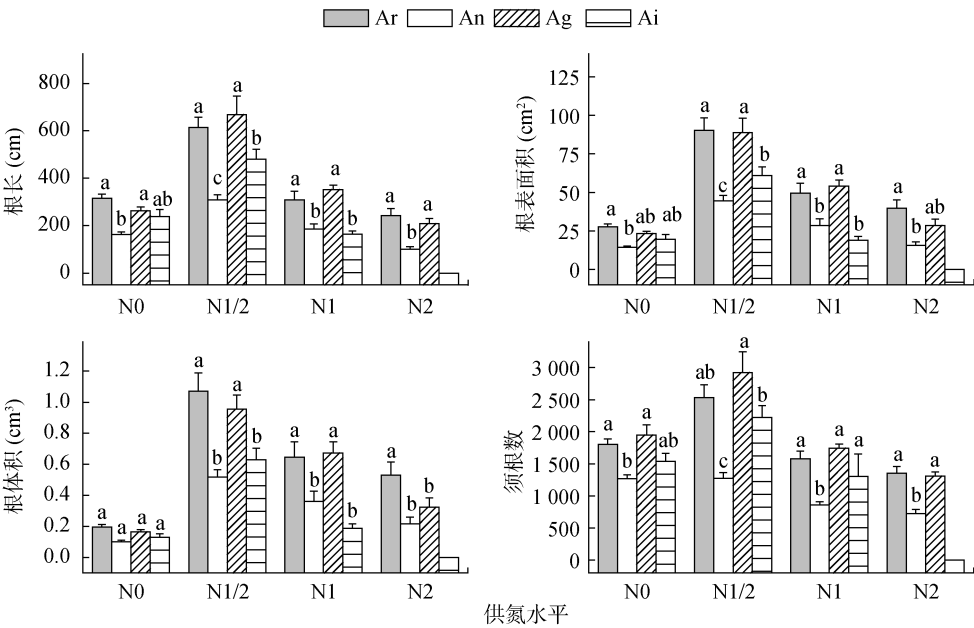


图 3 不同氮水平下 4 个桤木属植物根系形态参数
Fig. 3 Root parameters of four exotic alder at different nitrogen levels

表 2 不同氮水平下 4 个桤木属植物不同径级根系长度(cm)
Table 2 Root length in different diameter classes of four exotic alder at different nitrogen levels

种名	氮水平	不同径级			
		0 ~ 0.5 mm	0.5 ~ 1 mm	1 ~ 2 mm	>2 mm
红桤木	N0	279.83 ± 58 c	25.70 ± 8 fg	6.59 ± 3 fgh	1.69 ± 1 cde
	N1/2	470.55 ± 116 a	91.49 ± 32 a	37.64 ± 14 a	13.37 ± 7 a
	N1	223.21 ± 90 cd	51.64 ± 30 cd	25.32 ± 11 b	8.43 ± 4 abc
	N2	171.05 ± 64 def	43.34 ± 34 de	20.54 ± 10 bc	7.25 ± 3 abcd
喜马拉雅灰桤木	N0	143.93 ± 37 ef	12.40 ± 4 gh	3.65 ± 1 gh	1.02 ± 1 de
	N1/2	232.27 ± 57 cd	54.05 ± 23 cd	16.64 ± 5 cd	5.00 ± 2 bcde
	N1	128.63 ± 50 fg	40.85 ± 30 def	11.87 ± 7 def	2.81 ± 1 cde
	N2	71.05 ± 33 g	18.61 ± 12 g	8.62 ± 5 efg	2.34 ± 2 cde
欧洲桤木	N0	231.42 ± 48 cd	23.66 ± 7 efg	5.39 ± 3 fgh	1.18 ± 1 de
	N1/2	538.94 ± 247 a	79.38 ± 32 ab	34.50 ± 12 a	13.95 ± 6 a
	N1	259.56 ± 45 c	58.21 ± 21 cd	23.32 ± 9 bc	9.65 ± 4 ab
	N2	164.56 ± 60 def	25.92 ± 17 efg	12.15 ± 5 def	4.88 ± 4 bcde
灰桤木	N0	213.19 ± 94 cde	18.34 ± 11 g	4.47 ± 3 fgh	0.86 ± 1 de
	N1/2	385.32 ± 126 b	65.06 ± 29 bc	22.96 ± 10 bc	6.41 ± 3 bcde
	N1	136.44 ± 41 fg	23.92 ± 25 fg	15.42 ± 28 cde	11.45 ± 33 ab
	N2	-	-	-	-

注：表中同一列不同字母表示不同氮水平下各桤木属植物间差异显著(LSD, $P<0.05$)；“-”表示收获时大部分植株死亡，下表同。

茎部含氮量 11.41 ~ 27.19 g/kg，桤木叶片属于含氮量较高种类。桤木在 N1/2、N1 时各器官氮含量均表现为叶部>根部>茎部，但在 N2 时表现为根部>叶部>茎部，而在 N0 时桤木各器官含氮量差异不明显，特别是灰桤木在 N0 时各器官含氮量差异最小。桤木各器官含氮量明显受施氮水平影响，随施氮量的增加，各根茎叶中氮的含量均有明显提高，其中叶部含氮量变化最明显，极差最大。不同桤木材料各器官氮素含量受外源氮影响存在一定差异，以叶片氮为例，红桤木各器官氮含量为 10.81 ~ 28.42 g/kg，变幅最大；灰桤木为 15.83 ~ 26.11 g/kg，变幅最小。桤木叶片磷含量平均约为 1.67 g/kg，不同材料与处理间磷含量也存

表 3 不同氮水平下不同桉木属植物根、茎、叶的氮、磷含量
Table 3 Leaf N contents and N/P ratios in different parts of four exotic alder at different nitrogen levels

种名	氮水平	全氮含量(g/kg)			全磷含量(g/kg)
		根	茎	叶	叶
红桉木	N0	8.56 ± 0.13 i	11.41 ± 0.10 n	10.81 ± 0.04 l	3.94 ± 0.04 a
	N1/2	22.12 ± 1.95 f	19.02 ± 0.11 h	24.33 ± 0.13 h	1.30 ± 0.06 fg
	N1	26.23 ± 0.93 d	22.11 ± 0.06 e	26.32 ± 0.03 fg	1.43 ± 0.02 e
	N2	29.34 ± 0.43 b	24.23 ± 0.10 c	28.42 ± 0.08 b	1.15 ± 0.04 jk
喜马拉雅灰桉木	N0	11.11 ± 0.20 h	14.12 ± 0.03 m	13.61 ± 0.04 k	1.18 ± 0.03 j
	N1/2	21.93 ± 0.04 f	17.33 ± 0.03 k	26.54 ± 0.04 ef	1.68 ± 0.08 d
	N1	26.83 ± 0.04 cd	18.31 ± 0.12 i	27.42 ± 0.03 c	1.28 ± 0.08 fgh
	N2	32.45 ± 0.29 a	25.12 ± 0.08 b	26.83 ± 0.94 de	1.09 ± 0.02 k
欧洲桉木	N0	11.11 ± 0.19 h	17.62 ± 0.03 j	15.92 ± 0.03 j	1.21 ± 0.05 b
	N1/2	22.12 ± 1.00 f	17.51 ± 0.03 j	24.04 ± 0.06 h	1.21 ± 0.05 hij
	N1	27.01 ± 0.03 cd	21.63 ± 0.07 f	27.21 ± 0.04 cd	1.27 ± 0.03 gh
	N2	32.12 ± 0.38 a	27.19 ± 0.02 a	29.22 ± 0.04 a	1.35 ± 0.04 f
灰桉木	N0	15.83 ± 0.08 g	15.41 ± 0.03 l	15.83 ± 0.07 j	2.59 ± 0.07 c
	N1/2	23.24 ± 0.18 e	17.23 ± 0.03 k	20.51 ± 0.04 i	1.19 ± 0.06 ij
	N1	27.82 ± 0.05 c	20.71 ± 0.02 g	24.03 ± 0.06 h	1.26 ± 0.03 ghi
	N2	29.62 ± 0.36 b	22.72 ± 0.06 d	26.11 ± 0.07 g	1.68 ± 0.01 d

在差异。在 N1/2、N1 时叶片磷含量在材料间差异不显著，但在 N0 和 N2 时，即氮供应不足和供应过量时，材料叶片磷含量差异显著。

2.3 不同供氮水平对桉木氮累积利用的影响

由表 4 可以看出，N0 时各桉木氮累积量最低，氮利用效率最高，随供氮水平的增加，各桉木幼苗的氮累积量呈先增后降的趋势，而氮利用效率均呈现持续下降趋势。桉木氮累积量变化趋势表明桉木生长过程中氮素不足和过量对桉木生长都有一定影响，过量供氮导致氮累积和利用效率都较低。4 种不同浓度处

理中氮利用率最高的为 N1/2 水平，此浓度下红桉木和欧洲桉木具有较大氮累积量和较高的氮利用率，分别为 44.57% 和 40.14%，喜马拉雅灰桉木和灰桉木较低。N1/2 时桉木幼苗氮平均利用效率为 47.6 g/g，灰桉木氮利用效率稍高，为 49.13 g/g，其他 3 种桉木氮利用效率差异不显著，在 46.7 ~ 47.8 g/g 范围内。N1/2 时，红桉木和欧洲桉木氮累积量比 N0 时增加了 28.53、28.85 mg/株，相对其他两种桉木增幅较大，表现为对氮素较敏感。由表 4 也可看出植物叶片氮/磷随着氮浓度的升高而变大。

表 4 不同氮水平下不同桉木属植物氮累积量及利用效率情况
Table 4 N accumulations and utilization efficiencies of four exotic alder in different nitrogen levels

种名	氮水平	氮累积量(mg/株)	氮利用率(%)	氮利用效率(g/g)	叶片氮/磷
红桉木	N0	2.94 ± 0.73 ef	—	97.41 ± 1.69 a	2.74 ± 0.04 j
	N1/2	31.47 ± 4.26 a	40.14	46.77 ± 1.68 f	18.74 ± 0.85 d
	N1	26.14 ± 9.38 ab	16.67	40.48 ± 0.54 h	18.41 ± 0.24 d
	N2	31.39 ± 7.11 a	10.01	36.56 ± 0.32 i	24.73 ± 0.85 a
喜马拉雅灰桉木	N0	4.00 ± 1.08 ef	—	76.27 ± 1.16 b	11.54 ± 0.24 g
	N1/2	16.07 ± 4.55 bcd	20.49	47.47 ± 0.20 ef	15.82 ± 0.75 f
	N1	13.80 ± 4.86 cde	8.80	43.30 ± 0.42 g	21.48 ± 1.35 b
	N2	14.12 ± 5.72 cde	4.50	36.44 ± 0.24 i	24.61 ± 0.51 a
欧洲桉木	N0	6.09 ± 4.26 def	—	71.79 ± 4.02 c	4.99 ± 0.04 i
	N1/2	34.94 ± 15.07 a	44.57	47.80 ± 1.02 ef	19.89 ± 0.88 c
	N1	30.21 ± 4.53 a	19.27	40.01 ± 0.09 h	21.43 ± 0.48 b
	N2	30.56 ± 15.09 a	9.74	33.87 ± 0.12 j	21.66 ± 0.56 b
灰桉木	N0	3.90 ± 1.44 ef	—	63.79 ± 0.04 d	6.11 ± 0.18 h
	N1/2	17.67 ± 5.28 bc	22.54	49.13 ± 0.15 e	17.27 ± 0.89 e
	N1	10.95 ± 1.18 cdef	6.98	41.77 ± 0.15 gh	19.08 ± 0.45 cd
	N2	—	—	—	—

3 讨论

生物量是衡量植物状况的重要指标。植物在生长过程中, 当外在土壤养分供应不足时, 植物会分配更多物质到根部, 促进根部生长, 提高吸收能力, 满足养分吸收需求; 当土壤养分供应充足或植物对养分吸收充足时, 植物将更多干物质分配到地上部, 满足枝叶和茎秆的生长。本试验中, 缺氮处理(N0)下, 喜马拉雅灰桉木、欧洲桉木、灰桉木根冠比分别为标准氮处理(N1)的 1.12、1.81、1.37 倍, 表明桉木加强了根系中碳的分配, 使根冠比增加, 进而通过这种碳分配格局的变化来适应养分匮乏的环境。这种变化在很多作物^[18-19]中都有发现, 马褂木在应对低磷^[20]低氮^[21]胁迫时也存在类似的现象。另外, 不同桉木属植物根、茎、叶各器官生物量的分配不相同。在无氮处理时, 欧洲桉木根系生物量绝对值和根冠比较大, 说明欧洲桉木较其他 3 种桉木根系拓殖力较强, 在低营养环境中能保证较好的养分吸收和生长; 红桉木、喜马拉雅灰桉木和灰桉木在无氮处理时根系生物量均较低; 但在施氮处理后欧洲桉木和红桉木根系生长量显著高于喜马拉雅灰桉木及灰桉木, 说明欧洲桉木和红桉木根系生长较其他两种桉木对氮胁迫比较敏感; 灰桉木在 N2 处理时幼苗大部分死亡, 主要是由于高氮水平生长受到抑制甚至出现毒害现象^[22]所致, 进一步表明灰桉木对高氮的耐受性较低。

根系是植物吸收养分的主要器官, 不同氮营养供给会导致苗木整体根系形态发生显著变化。本研究表明, 随着氮浓度的增加, 桉木属植物的根长、根表面积、根体积、根尖数相应增加, 且在 N1/2 水平时具有最大值, 当氮浓度超过 N1/2 增加到 N1、N2 时, 各根系参数又逐渐降低, 说明低氮胁迫促进植物根系的生长发育, 提高苗木对氮素的吸收利用, 这是植物在形态上适应低氮胁迫的一种重要适应机制。细根作为根系统中比较活跃和敏感的部分, 对环境养分的变化所表现出的形态可塑性最为显著。本试验中, 缺氮处理下 0 ~ 0.5 mm 直径的根长占整株根长的比例均大于其他 3 个供氮水平, 说明桉木幼苗为了摄取更多的养分, 扩大了根系生长, 增加了养分吸收面积; 随着氮浓度的增加, 细根比例逐渐减少, 直致高氮时细根比例达最低, 说明高氮对植物产生一定伤害, 对新根的产生具有一定的抑制作用, 最终导致根部对外界养分吸收的减少, 植物生长受限。

植物组织中的养分含量与养分的累积量是土壤养分供给能力的直接反映者, 氮利用效率是植物对氮同化力的反映, 叶片氮/磷被认为可以作为判断环境

对植物生长的养分供应状况的指标^[23]。Braakhekke 和 Hooftman^[24]通过对土壤养分贫瘠的草地进行试验时, 结合叶片中氮、磷含量的大小, 认为氮 磷>14, 且磷<1.0 g/kg, 植物受磷限制; 氮 磷<10, 氮<20.0 g/kg, 植物受氮限制; 氮 磷在 10 ~ 14, 且磷<1.0 g/kg、氮<20.0 g/kg, 则受氮、磷共同限制, 或两元素都不缺少(磷>1.0 g/kg、氮>20.0 g/kg)。本试验中, N0 处理时, 氮 磷<10, 且氮<20.0 g/kg, 按照 Braakhekke 的前述标准表明桉木生长受氮限制; 随着供氮浓度的增加, 桉木根、茎、叶中含氮量增加, N1/2、N1、N2 时, 叶片氮含量在 20.51 ~ 29.22 g/kg、磷含量在 1.09 ~ 3.94 g/kg, 氮/磷在 15.54 ~ 24.61, 按照 Braakhekke 的前述标准表明 N1/2、N1、N2 时桉木均不受氮、磷限制, N1/2 已能适应桉木生长需要, 且在 N1/2 时桉木氮累积量、利用率、生物量均达到最大, 进一步升高氮浓度, 桉木氮累积量、生物量、根系形态指标、氮利用率都呈下降趋势, 不利于桉木生长。此研究结果表明, 尽管桉木具有一定的固氮特性, 但在低地力环境桉木速丰林培育中补充一定的外源氮肥有一定必要, 过量施用氮肥也不宜。不同桉木材料间, 从生物量、根系形态、氮利用率、氮累积量及其增量综合分析认为欧洲桉木和红桉木具有较好生产应用前景, 适宜作为工业或生态树种推广应用, 喜马拉雅灰桉木、灰桉木的生长表现较差, 在生产上利用价值较小, 不宜推广应用。

参考文献:

- [1] 张耀甲. 甘肃省桦木科植物的分类和分布[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2000, 36(2): 84-92
- [2] 李邀夫, 吴际友. 四川桉木的丰产性能及栽培技术[J]. 湖南林业科技, 2004, 31(1): 18-19
- [3] 陈强, 朱全福, 李品荣, 常恩福, 毕波, 尹艾萍. 川滇桉木的生境适应性、木材纸浆性能与林分生态效益分析[J]. 西部林业科学, 2007, 36(3): 16-21
- [4] 陈炳星, 周志春, 李光荣, 黄光霖, 杨林. 桉木制浆造纸研究现状与我国桉木浆的开发利用[J]. 林业科学研究, 1999, 12(6): 656-661
- [5] 王军辉, 顾万春, 夏良放, 万军, 干小雄. 桉木种源的地理变异和种源区划[J]. 浙江林学院学报, 2005, 22(5): 502-506
- [6] 王金锡, 朱万泽, 余长春. 台湾桉木生物生态学特性及引种栽培技术[J]. 四川林业科技, 2004, 25(1): 36-41
- [7] 王军辉, 顾万春, 夏良放, 李斌, 郭文英. 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
- [8] 朱万泽, 王金锡, 薛建辉. 台湾桉木引种的光合生理特性研究[J]. 西北植物学报, 2004, 24(11): 2012-2019
- [9] 卓仁英, 陈益泰. 五种桉木属植物的光合特性初步研究

- [J]. 浙江林业科技, 2004, 24(6): 1-4
- [10] 朱万泽, 王金锡, 薛建辉. 引种台湾桫木的水分生理特性[J]. 武汉植物学研究, 2004, 22(6): 539-545
- [11] 朱万泽, 王金锡. 引种台湾桫木的蒸腾特性及其影响因素[J]. 四川林业科技, 2005, 26(1): 9-14
- [12] 吕梅. 红桫木生理生态、固氮活性及根瘤放线菌研究(博士学位论文)[D]. 南京: 南京林业大学, 2008
- [13] 邹高顺. 台湾桫木引种造林及其培肥能力的研究[J]. 福建林学院学报, 1995, 15(2): 112-117
- [14] 毛达如. 植物营养研究方法[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2005
- [15] Lowther JR. Use of a single sulphuric-hydrogen peroxide digest for the analysis of *Pinus radiata* needles[J]. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 1980, 11: 175-188
- [16] Mukherjee SK, Asanuma S. Possible role of cellular phosphate pool and subsequent accumulation of inorganic phosphate on the aluminum tolerance in *Bradyrhizobium japonicum*[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1998, 30: 1511-1516
- [17] 曹靖, 张福锁. 低磷条件下不同基因型小麦幼苗对磷的吸收和利用效率及水分的影响[J]. 植物生态学报, 2000, 24(6): 731-735
- [18] 杨光梅, 钱晓刚, 韩宁. 玉米耐低氮基因型筛选压力的选择[J]. 种子, 2007, 26(6): 31-37
- [19] 任书杰, 张雷明, 张岁岐, 上官周平. 氮素营养对小麦根冠协调生长的调控[J]. 西北植物学报, 2003, 23(3): 395-400
- [20] 李建民, 王剑, 周志春, 饶龙兵, 金国庆. 磷素环境与马褂木种源的生长和干物质积累[J]. 林业科学, 2005, 41(5): 192-195
- [21] 樊瑞怀, 杨水平, 周志春, 金国庆. 氮素营养对马褂木家系苗木生长效应分析[J]. 林业科学研究, 2009, 22(1): 85-90
- [22] Chen BM, Wang ZH, Li SX, Wang GX, Song HX, Wang XN. Effects of nitrate supply on plant growth, nitrate accumulation, metabolic nitrate concentration and nitrate reductase activity in three leafy vegetables[J]. Plant Science, 2004, 167: 635-643
- [23] Güsewell S. N : P ratios in terrestrial plant : Variation and functional significance[J]. New Phytologist., 2004, 164: 243-266
- [24] Braakhekke WG, Hooftman DAP. The resource balance hypothesis of plant species diversity in grassland[J]. Journal of Vegetation Science, 1999, 10: 187-200

Effects of Supplied Nitrogen Levels on Root Morphology, Accumulation and Utilization Efficiency of Nitrogen of Four Exotic Alder Seedlings

LI Xia^{1,2}, RAO Long-bing^{2*}, GUO Hong-ying³, DUAN Hong-ping¹, CHEN Yi-tai²

(1 College of Resource and Environment, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;

2 Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang, Zhejiang 311400, China;

3 Sichuan Academy of Forestry, Chengdu 610081, China)

Abstract: By sand culture in greenhouse, the experiment of growing process on four exotic alders including *Alnus glutinos*, *Alnus rubra*, *Alnus nitada* and *Alnus incana* were conducted under four different concentrations of nitrogen (N0, N1/2, N1, N2) in order to discover the growing responses to nitrogen and to analyze root morphology of seedling, accumulation and utilization efficiency of nitrogen. The results showed that the growth parameters of 4 exotic alders, such as the total biomass, accumulation of nitrogen, length of root, surface area of root, volume of root and number of rootlets increased when the concentration of nitrogen varied from no nitrogen (N0) to low nitrogen (N1/2), yet decreased at normal nitrogen (N1) and high nitrogen (N2). However the rootlet ratio and utilization efficiency of nitrogen decreased significantly with increasing nitrogen supplied. Among 4 experimental materials, *Alnus glutinos* and *Alnus rubra* had higher total biomass, accumulation of nitrogen, root morphological parameters and nitrogen utilization efficiency than *Alnus nitada* and *Alnus incana*, and they could be potentially used in ecological protection and plantations for short rotation trees in the plain of middle and lower Yangtze River. Although the alders had certain nitrogen fixation ability, certain amount of nitrogen fertilization is still needed in the low fertility sandy soil and hilly region in the intensive management of plantations of alders.

Key words: *Alnus*, Nitrogen supplies, Biomass, Root morphological parameters, Nitrogen accumulation, Nitrogen utilization efficiency