

马占相思与大叶相思人工林氮素营养特性研究

李志安 林永标 沈承德 孙彦敏 陈庆强

(中国科学院华南植物研究所, 广州 510650) (中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640)

摘要 以中国科学院鹤山丘陵综合试验站马占相思与大叶相思人工林为材料, 报道两种人工林氮素营养特征, 结果表明: 1) 马占相思与大叶相思改土效应显著, 12年林龄时, 表层土壤(10cm)有机质含量在 $30\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 以上, 含氮量大于 $1.6\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 但马占相思的肥土效应显著高于大叶相思, 在30cm以下, 大叶相思林土壤的含氮量约只有马占相思林土壤的一半。2) 两种叶子含氮量全年变幅不大, 但有一定的起伏, 马占相思绿叶与落叶内含氮量显著高于大叶相思, 它是林下土壤获得更快改良的主要原因。两个种均从落叶中大量转移利用氮素, 马占相思的转移率在24%~58%之间, 大叶相思转移率高于马占相思, 在37%~60%之间。3) 当土壤受到干扰时, 土壤中的氮矿化数倍高于未受干扰的土壤, 30d土柱培养后土壤的总矿质氮量为马占相思 $15.04\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 大叶相思 $20.81\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 而相应的碎土培养结果为马占相思 $46.17\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 大叶相思 $44.53\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。这两种林下土壤的矿质氮以硝态氮为主。4) 两个种不同部位的含氮量变化极大, 叶子含氮量最高, 马占相思为 $33.4\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 大叶相思为 $31.4\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$; 主干的含氮量最低, 马占相思为 $5.4\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 大叶相思为 $3.9\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$; 两个种枝条与根各对应等级的含氮量极其相似, 它们随径级大小而变化的格局也相同, 径级越大, 含氮量越低。两种叶子的C/N比较低(15~16), 是培肥土壤的优质有机物质。

关键词 马占相思 大叶相思 人工林 氮素营养

CHARACTERISTICS IN NITROGEN NUTRITION OF ACACIA MANGIUM AND ACACIA AURICULAEFORMIS MAN-MADE FORESTS

LI Zhi-An and LIN Yong-Biao

(South China of Institute of Botany, Academia Sinica, Guangzhou 510650)

SHEN Cheng-De SUN Yan-Min and CHEN Qing-Qiang

(Guangzhou Institute of Geochemistry, Academia Sinica, Guangzhou 510640)

Abstract This paper deals with nitrogen characteristics of two man-made forests in Heshan Inter Disciplinary Experimental Station, Academia Sinica, situated in 23°N , 118°E . The results show: 1) *A. mangium* and *A. auriculaeformis* could improve soil significantly. Surface soil ($0\sim10\text{ cm}$) contained organic matter, over $30\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, nitrogen, over $1.6\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$. *A. mangium* had much stronger soil effect than *A. auriculaeformis*. In soil deeper than 30cm, nitrogen content in *A. auriculaeformis* had only half of that in *A. mangium*. 2) Nitrogen content did not change very much, but undulation could be observed. The level of nitrogen content in both live and dead leaves of *A.*

本文于1999-03-15收稿, 1999-08-30收到修改稿。

本研究得到中国科学院重大项目(KZ95T-04-02, KZ 951-BJ-110)、中国科学院生态网络重大项目“亚热带丘陵农林复合生态系统生产力形成机制”及中国科学院鹤山丘陵综合试验站开放基金的资助。

mangium was higher than that of *A. auriculaeformis*, accounting for the quick improvement of soil by *A. mangium*. Both species largely reused the nitrogen from senesced leaves. The resorption rate of *A. mangium* ranged from 24% to 58%, while 37%~60% for *A. auriculaeformis*. 3) Nitrogen mineralization was multiplied as the soil was disturbed. The total mineralized nitrogen of soil core incubation was $15.04 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ for *A. mangium* after 30 days' incubation, while $20.81 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ for *A. auriculaeformis* respectively. On the contrary, the total mineralized nitrogen of ground soil incubation was $46.17 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ for *A. mangium*, $44.53 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ for *A. auriculaeformis*. The nitrate was the dominant form of mineralized nitrogen. 4) The different organs of both species had rather different nitrogen content, with highest in leaf, lowest in trunk. The leaves of *A. mangium* contained $33.4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ N, while $31.4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ for *A. auriculaeformis*. The trunk of *A. mangium* contained $5.4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ N, while $3.9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ for *A. auriculaeformis*. The stem and root of both species had rather similar pattern of nitrogen content. The higher the diameter class the lower the nitrogen content was the low C/N ratios of the species were beneficial to the soil amelioration.

Key words *Acacia mangium*, *Acacia auriculaeformis*, Man-made forest, Nitrogen

马占相思与大叶相思具有耐瘠、速生和适应性强等特点,近年来被广泛推广用作荒山造林的先锋树种。与桉松等其它常用造林树种相比,它们的最大优势在于速生的同时,还培肥改良了土壤。当它们生长一定时间(据观察约30年)后,出现自然衰退,这时其它乡土树种借助良好的土壤条件而迅速入侵,逐渐向地带性自然森林类型过渡(余作岳等,1985)。马占相思与大叶相思的固氮作用是这种肥土效应的关键原因,固氮使枝叶氮含量显著高于其它树种,枝叶的凋落给地表带来优良的有机质,并产生一系列良性生态过程,土壤生物类群增加,土壤腐殖质迅速积累。因而,这两种林型的各种优良特征均与氮素营养过程有关,然而,目前对这两种人工林的氮素营养的研究均比较零散,本文以作者近年来在中国科学院鹤山丘陵定位研究站开展的研究材料,系统报道马占相思与大叶相思人工林氮素营养特征。

1 材料与方法

各种样品均取自中科院鹤山丘陵综合试验站,野外试验亦在试验站固定样方内进行。

1.1 植株C、N含量测定

植株区分为叶、枝、干、皮、根5个部分,枝和根又进一步划分为3个径级($<0.5\text{cm}$, $0.5\sim2\text{cm}$, $2\sim5\text{cm}$)分别取样,两个种最小径级的根均含大量须状根。样品取回后立即在 60°C 下烘干,磨碎过 1mm 筛,装瓶待测。

样品直接用美国PE公司生产的元素分析仪进行测定(PE2400 II)。

1.2 叶子氮素动态与转移

马占相思与大叶相思林在林龄10年时,对其绿叶与黄叶内的氮动态进行一个周年的跟踪测定。于每个月的最后一天进行采样,分别采绿色成熟叶和刚脱落的黄色叶两种样,

即从3棵正常生长的个体上采集大致相等量的叶子,混合成一个样,再从其它3棵树采集第二个混合样,形成2个重复。黄色叶子样通常在地表根据叶色拾取新鲜落叶,或摇动树干以振落、收集黄叶,个别月份难于从叶色判断地表落叶的时间,这时,从林下凋落叶收集箱内拾取最表面的叶子以代表当月的新鲜落叶样品。

样品用 $H_2SO_4-HClO_4$ 消化,定容100ml。用自动离子分析仪(美国产Lachat Ion Analyzer)测定其中含氮量。

1.3 氮素矿化

土柱培养:用环刀($100cm^3$)在林下取表土样,将环刀连土壤一起带回室内,调节土壤含水量至田间持水量,环刀两端加盖,隔天开盖1h,每5d调节持水量,在 $25^{\circ}C$ 下培养30d。

碎土培养:称20g土于试管中,调节至田间持水量,盖上胶塞,隔天开盖通气,在 $25^{\circ}C$ 下培养30d。

加枯叶培养:与上述碎土培养过程相同,但增加混合2g相应林型的枯叶(过2mm筛),混合前,将枯叶用10ml水湿润。

培养结束后,以1:5的土液比加入2M KCl溶液,振荡1h,离心测定上清液中的 NH_4^+ 与 NO_3^- 含量。 NH_4^+ 用离子分析仪测定, NO_3^- 用比色法测定。

2 结果与讨论

2.1 改土效应

氮素营养与有机质等肥力因素密切相关,作为豆科树种,马占相思与大叶相思的肥土效应特别显著。从有机质含量看(表1),12龄林表土有机质均在 $30g\cdot kg^{-1}$ 以上,但两者的作用深度差别较大,马占相思林土壤在50cm处有机质含量仍达 $10.6g\cdot kg^{-1}$,比大叶相思土壤高许多。马占相思对深层土壤的改良是由于其深根系的作用,以及大量而富含氮的枯落物作用的结果,从土壤剖面上看,腐殖质层达45cm厚。全氮含量也表明,马占相思林下土壤已接近自然林的含氮量水平,大叶相思对表土的作用同样是极为显著的,但在30cm以下,其含氮量约只有马占相思土壤的一半。

不同的森林类型由于给地表回归的凋落物性质差别很大,它们对土壤磷的有效化作用效果也不同,从表1看,速效磷含量在剖面上有一定的变化,但差别并不很大,说明尽管两种森林使土壤有机质含量大大提高,但并没有使磷产生相应的变化,速效磷随深度变化的梯度格局与有机质及全氮的梯度格局是不同的。森林对磷的作用主要表现在激活难利用磷,而森林对土壤磷的总量影响极小,对磷的聚积作用也不明显。某些森林类型对磷的吸附固定有一定的减缓作用,从表1的结果看,马占相思与大叶相思的这一作用是肯定的,但不如某些报道的效果显著。

2.2 叶内氮素动态与转移

绿叶内的氮含量比较稳定,表现出因种而异的含量水平,但有一定的动态起伏。从图1看,马占相思1~5月氮水平较低,而6月份以后的含量水平较高,大叶相思6、7月份较高,其它月份较低。马占相思与大叶相思绿叶的含氮动态变化趋势极为相似,曲线几近平行,这只能解释为是树木对季节变化的生理反应,尽管它与南方典型的四季格局并不吻合。

合。虽然植株全年不同阶段具有不同的生理特征及生长反应,但落叶内的氮含量是几乎不变的,图上只有12月份较特殊,这一月份,两个种的含氮量上升到较高的水平。大叶相思黄叶的含氮量全年极为相似,而马占相思具有一定变化,7月和8月较低。

表1 马占相思与大叶相思林下土壤性状

Table 1 The properties of soil under *Acacia mangium* and *A. auriculaeformis* forests

	取样深度 Depth (cm)	有机质 O.M. (g·kg ⁻¹)	全氮 Total N (g·kg ⁻¹)	速效磷 Available P (mg·kg ⁻¹)
马占相思 <i>Acacia mangium</i>	0~10	31.6	1.72	1.50
	0~20	18.3	0.92	1.17
	20~30	12.5	0.45	0.90
	30~40	14.3	0.59	0.97
	40~50	10.6	0.40	0.76
	50~75	6.8	0.23	0.62
	75~100	4.5	0.01	0.69
大叶相思 <i>Acacia auriculaeformis</i>	0~10	33.3	1.61	1.87
	0~20	15.4	0.56	0.90
	20~30	9.0	0.22	0.97
	30~40	7.7	0.31	0.62
	40~50	7.7	0.22	1.17
	50~75	7.0	0.12	0.76
	75~100	6.7	0.12	0.62

尽管两个种均为豆科固氮树种,但无论是绿叶还是黄叶,马占相思的含氮水平总是高于大叶相思,马占相思发达的根瘤保证了其叶子的高氮水平。由于落叶的高氮量与大的落叶量,使马占相思林下土壤获得快速的改良,也是这两种土壤营养差异较大的主要原因。

表2 马占相思与大叶相思叶子养分转移率(%)

Table 2 Nitrogen resorption rate (%) in the leaves of *Acacia mangium* and *A. auriculaeformis* (%)

月份 Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
马占相思 <i>A. mangium</i>	36.4	42.3	37.1	28.5	27.7	47.3	54.6	57.9	42.2	37.9	40.9	24.0
大叶相思 <i>A. auriculaeformis</i>	40.0	58.0	37.3	46.3	44.4	59.5	59.8	53.7	56.5	51.2	54.7	16.1

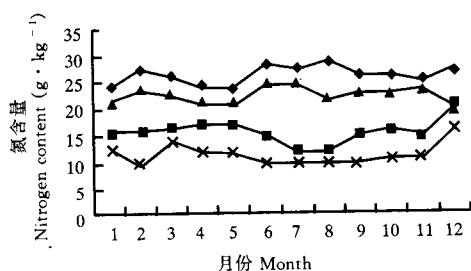


图1 马占相思与大叶相思叶子氮含量动态(10龄林)
Fig. 1 Nitrogen dynamics of leaves of *A. mangium* and *A. auriculaeformis* (at the age of 10 years-old)

- ◆马占相思绿叶 Green leaf of *A. mangium*
- ▲大叶相思绿叶 Green leaf of *A. auriculaeformis*
- 马占相思黄叶 Yellow leaf of *A. mangium*
- ×大叶相思黄叶 Yellow leaf of *A. auriculaeformis*

从衰老叶子中转移养分是一种普遍现象(Nambiar & Fife, 1991; Pugnaire & Chapin, 1993; Sollins *et al.*, 1980),这两个种尽管通过固氮作用可从大气中获得氮素营养,但同样大量从落叶中转移氮(表2)。马占相思氮素的月度转移率在24%与58%之间,而大叶相思转移率普遍较高,除12月份外,月度转移率在37%与60%之间。从表2还可看出,全年的氮转移率变化较大,特别是马占相思,以4月和5月的转移率最低(约28%),7月和8月最高(55%~58%),大叶相思转移率变幅较小。两个种相比,大叶相思的转移率要显著高

于马占相思,丁明懋等(1991)的资料证实,大叶相思的固氮量低于马占相思,因而,更需要通过氮素的再利用来满足生长的需求。

养分转移可减少植株从环境中吸收养分的需求,被认为是对生境的适应,特别是对制约性养分,如大量研究已注意到,磷是植物生长极其需要而又难于从土壤中吸收的元素,多数植物种类均高效地从衰老叶中转移利用磷养分,转移率可达90%。

从马占相思的曲线特征看,养分转移率的高低可能与生长过程中的生理需求有关。6~8月份,马占相思的绿叶曲线上拱,而黄叶曲线下凹。它表明,当绿叶因生理调节而含养分水平上升时,它能更多地从枯叶中转移获得,使枯叶内养分被更有效地转移。大叶相思这种趋势不如马占相思显著。

2.3 土壤与落叶中氮的矿化

有机态氮转化为无机态氮的过程即为氮的矿化,它主要是微生物过程,因而,矿化氮的形态及矿化速率均与微生物活性强弱有关。从表3看出,土柱培养法的矿质氮水平大大低于碎土培养法,碎土培养可使氮矿化速率提高2~3倍,碎土改善了微生物生长条件,加速有机质的分解过程。但如在碎土中加入枯叶进行培养,则铵态氮下降至大大低于纯碎土培养的水平,因而,至少在分解30d这一阶段,枯叶的分解可能不利于矿质氮的释放(在本试验中,加枯叶培养后,提取液含大量棕褐色有机成份,严重干扰硝态氮的测定,因而,未能对硝态氮水平作出估计)。如将加枯叶培养与加枯叶直接提取的材料作比较,可以看出,培养前土壤中含有相当高的铵态氮水平,而培养30d后,这些铵要么被固定,要么转化了。

表3 不同处理矿质氮含量($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.土壤)¹⁾
Table 3 Mineralized nitrogen content ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ soil) in different treatments

处理 Treatments	氮素形态 Nitrogen forms	马占相思 <i>A. mangium</i>	大叶相思 <i>A. auriculaeformis</i>
土柱培养 Soil core incubation	NH_4^+	3.69 ± 1.31	7.53 ± 3.77
	NO_3^-	11.35 ± 5.64	13.28 ± 2.86
	合计 Sum	15.04	20.81
碎土培养 incubation with milled soil passing 2mm	NH_4^+	20.07 ± 3.59	19.95 ± 4.12
	NO_3^-	26.10 ± 1.15	24.58 ± 2.56
	合计 Sum	46.17	44.53
加枯叶培养 Incubation with litter	NH_4^+	4.49 ± 1.59	4.13 ± 0.55
	NO_3^-	-	
	合计 Sum		
加枯叶提取 Extracted with litter without incubation	NH_4^+	30.63 ± 0.61	32.80 ± 0.50
	NO_3^-	2.24 ± 0.86	5.12 ± 0.34
	合计 Sum	32.87	37.92
培养前提取 Extracted before incubation	NH_4^+	13.8 ± 1.72	13.8 ± 2.71
	NO_3^-	4.8 ± 1.95	5.4 ± 0.76
	合计 Sum	18.6	19.2

1): 培养处理为培养30d后提取测定结果 All incubation lasted for 30 days

从各种处理来看,马占相思与大叶相思的矿化格局都是非常相似的,而矿质氮水平又是相当接近的。进行培养前,矿质氮以铵态氮为主,培养后均以硝态氮为主。一般认为,酸性森林土壤以氨态氮为主(Alexander, 1977; Keeney, 1980),这里的结果与这一主张是不相吻合的,但作者以前的报道已发现(李志安等,1995),矿质态的形态与林型密切相关,不能一概而论,Paschke(1989)的结果也证实这一点。

2.4 不同部位 C、N 含量比较

碳氢化合物是植物组织的骨架,无论哪一器官,其含碳量均是相似的,马占相思除叶子外,其它部位的含碳量均在 45%~48% 之间(表 4),大叶相思也大致在这一范围内。形成鲜明对照的是植物的含氮量,不同部位的含量极其不同,除了不同器官之间的显著差异外,根与枝条不同径级间的差别也很大。总的来说,叶子含氮量最高,主干最低,根与枝条的含氮量随径级的增粗而下降,所测定的 3 个径级间,最大与最小径级含氮量差别可达 2~3 倍。这充分说明,研究植物的枝与根,必须详细说明径级的大小,否则,测定值是无意义的,同一种植物的根或枝可因径级的不同而测得完全不同的氮素含量。

表 4 马占相思与大叶相思(14 龄林)不同部位 C、N 含量与 C/N 比

Table 4 Carbon and nitrogen content, C/N ratios in different parts of *Acacia mangium*
and *A. auriculaeformis* at the age of 14

种类 Species	部位 Parts	径级大小 Size(cm)	C(g·kg ⁻¹)	N(g·kg ⁻¹)	C/N
马占相思 <i>A. mangium</i>	枝条 Branch	2~5	454.8	7.9	57.6
		0.5~2	464.8	10.0	46.5
		<0.5	460.0	14.9	30.9
	根 Root	2~5	483.9	5.6	86.4
		0.5~2	476.7	9.0	53.0
		<0.5	461.0	16.8	27.4
	树皮 Bark		483.1	18.8	25.7
	主干 Trunk		478.1	5.4	88.5
	绿叶 Leaf	502.5		33.4	15.0
大叶相思 <i>A. auriculaeformis</i>	枝条 Branch	2~5	487.5	7.2	67.7
		0.5~2	476.5	10.9	43.7
		<0.5	468.9	14.6	32.1
	根 Root	2~5	484.0	5.5	88.0
		0.5~2	486.9	8.7	56.0
		<0.5	485.0	16.0	30.3
	树皮 Bark		503.1	11.3	44.5
	主干 Trunk		484.6	3.9	124.3
	绿叶 Leaf		506.6	31.4	16.1

从表 4 看,马占相思与大叶相思不同部位的含氮量与大小格局具有很大的相似性,枝条与根相应径级的对应值几乎相同,测定值只是最后一位小数位上有差别。这种相似性是否意味着某种固有的规律性,抑或是偶然的巧合,有待进一步的探讨。两个种的树皮与主干含量差别较大,马占相思树皮与主干含氮量具有较高的水平。

如从回归土壤的有机质的肥土效应来看,C/N 比是衡量有机质品质的重要指标。从表 4 看出,C/N 比因氮的巨大差异而极为不同,因含 C 量相对固定,C/N 比刚好与含氮量

成恒定的反比关系。习惯上,25被认为是C/N的临界指标,C/N比大于25,则有机质分解过程中有矿质氮释放出来,否则,土壤中的矿质氮反而会在有机质分解过程中被固定。表4中显示,只有绿叶的C/N比才低于25,马占相思为15,大叶相思为16。从前面氮转移率看,马占相思转移率在24%~58%之间,大叶相思转移率一般大于40%,因而,不同月份落叶的C/N比至少是靠近25这一数值。

参 考 文 献

- Alexander M. 1977. Introduction to soil microbiology. New York:John Wiley and Sons, Inc. 467.⁴
- Ding M. M.(丁明懋), W. M. Yi(蚁伟民) & L. Y. Liao(廖兰玉). 1991. The quantities of nitrogen fixation by *Acacia auriculaeformis* and *Acacia mangium*. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), **11**(3):289~290. (in Chinese)
- Keeney D. R. 1980. Prediction of soil nitrogen availability in forest ecosystems: A literature review. *Forest Science*, **26**: 159~171.
- Li Z. A.(李志安), H. Weng(翁轰) & Z. Y. Yu(余作岳). 1995. The impact of human activities on the soil nitrogen mineralization in artificial forests. *Chinese Bulletin of Botany*(植物学通报), **12**(supp.);142~148. (in Chinese)
- Nambiar E. K. S. & D. N. Fife. 1991. Nutrient retranslocation in temperate conifers. *Tree Physiology*, **9**:185~207.
- Paschke M. W. 1989. Soil nitrogen mineralization in plantations of *Juglans nigra* interplanted with actinorhizal *Elaeagnus umbellata* or *Alnus glutinosa*. *Plant and Soil*, **118**:33~42.
- Pugnaire F. I. & F. S. Chapin III. 1993. Controls over nutrient resorption from leaves of evergreen Mediterranean species. *Ecology*, **74**:124~129.
- Sollins P., C. C. Grier, F. M. McCrison & R. L. Fredriksen. 1980. The internal element cycles of an old-growth Douglas-fir ecosystem in western Oregon. *Ecological Monographs*, **50**:261~285.
- Yu Z. Y.(余作岳) & Y. F. Pi(皮永丰). 1985. The study on the reconstruction of forest vegetation in tropical coastal eroded land in Guangdong. *Tropical and Subtropical Forest Ecosystem*(热带亚热带森林生态系统研究), **3**:97~104. (in Chinese)