

# 桫欏木人工林结瘤固氮的时空变化 及其对后续植物的效应(Ⅱ)

邓廷秀 刘国凡

(中国科学院,水利部成都山地灾害与环境研究所 成都 610041)

**提 要** 桫欏木人工林在山丘区的根瘤固氮活性  $3\sim 6\mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{h})$ , 活性受多种因素影响, 变幅相当大, 而变化规律仍明显. 五年生桫欏木固氮量  $1\sim 4\text{mg}/(\text{株}\cdot\text{h})$ . 固氮量取决于结瘤量, pH 和质地亦影响显著. 壤质的低钙质紫色土固氮能力较高, 重壤质的酸性紫色土和黄壤固氮能力较低. 十年生桫欏木林采伐迹地上, 桫欏木固氮改良土壤, 并促进后续植物的生长.

**关键词** 桫欏木 固氮 多元分析

根瘤是固氮的物质基础和场所, 前篇报告<sup>[1]</sup>报道了桫欏木林不同生境的结瘤状况, 现进一步讨论固氮效率的时空变化规律, 不同生境的固氮能力. 树木固氮对植株生长的作用是无疑的, 而这种林分对立地的改良和后续植物的效应如何, 文献资料亦甚少.

## 1 研究对象和方法

田间调查及固氮活性测定等, 前文<sup>[1]</sup>已有交待, 此处不加重述.

为查明固氮对后续植物的效应, 设置了定位观测实验区, 该区位于简阳市龙泉山的武庙林场, 那里 11 年前栽植大面积桫欏柏混交林, 部分土地用作农耕地, 土壤均为钙质紫色土, 土壤性质和肥力水平相近, 10 年后砍伐桫欏木林, 两类用地同时栽培经济植物——杜仲 *Eucommia ulmoides*, 并各设置三块样地, 用来测定杜仲的生长. 它的生长率说明不同方式用地对后作的影响, 反映固氮林分的后效.

## 2 结果和讨论

### 2.1 根瘤固氮活性的变化

根瘤固氮效率表现在固氮活性上, 根瘤的发育阶段不同, 自身的活性也发生变化. 随着瘤龄的增长, 活性相对降低. 为了比较效率的高低, 常用是壮瘤活性来对比的. 树龄对活性的影响也很明显, 在不同时期多次测定的结果说明(图 1), 随着树龄增加, 活性相对降低, 这在很大程度上与瘤簇木质化程度的增加有关.

图 1 的资料是在盐亭县钙质紫色土上桫欏柏混交林中测定的, 它主要表明: 不同树龄植株上根瘤活性的季节动态, 12 月到次年 3 月属冬季期, 活性最低甚至失活, 3 月以后随着树液的流动, 活性恢复, 并逐渐增高, 6~9 月波状起伏维持较高水平, 10 月以后活性较快衰减, 它与树木的生育节律是一致的. 昼夜变化是在季节变化的基础上产生的, 它的变幅

本文收稿日期: 1996-08-13.

受季节的制约.

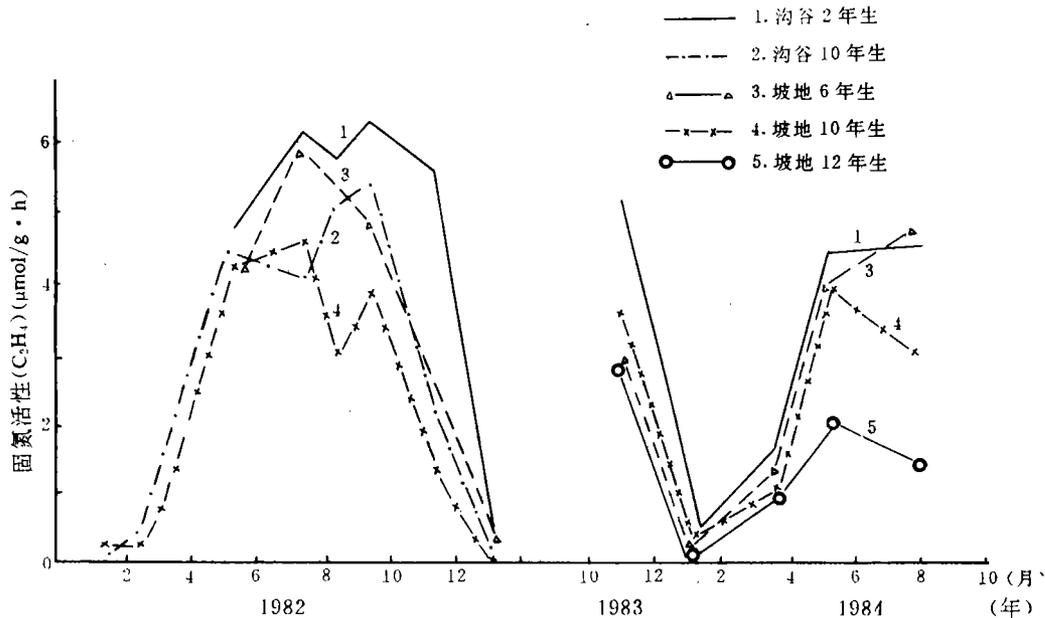


图 1 不同林龄根瘤活性的季节变化

Fig. 1 Seasonal variation in nodule activity of alder different age

生态因素的影响, 统计分析结果表明(表 1), 固氮活性主要与土层厚度有关, 厚土水分-养分条件优越, 对微生物生活有利, 活性增强; 较低的部位土层也较厚, 活性的权重也较大, 它与前一因素是相关联的;  $\text{CaCO}_3$  的影响呈抛物线, 含量低时有促进作用, 过高时则产生抑制作用; 有效磷对活性有显著影响, 随着有效磷含量的提高, 固氮活性呈线性增加; 此外有效氮、坡向与活性也有一定显著程度的相关, 从权重看出, 北坡和平地可能因水热条件较适宜, 有利于固氮. 上述分析说明, 野外条件下, 根瘤固氮活性受多方面的制约和影响, 导致它的变幅常很大.

表 1 柾木根瘤固氮活性与生态因子的相关方程和它们的各级权重<sup>1)</sup>

Table 1 Correlative equation between nodule activity and ecological factors and their weight

因子	方程、权重	R	F	S(e)
地貌	$Y = 4.8865X^{0.0494}$ (幂函数)	0.2928	6.1891*	1.1947
	$Y = 4.19X_1 + 4.57X_2 + 4.94X_3 + 3.87X_4 + 5.20X_5$			
坡向	$Y = 0.9313X + 4.2569$ (线性)	0.2525	4.4953*	1.1852
	$Y = 4.38X_1 + 4.34X_2 + 4.57X_3 + 5.36X_4 + 4.90X_5$			
土厚	$Y = \frac{X}{0.0011 + 0.2196X}$ (双曲线)	0.3999	12.5602**	1.2193
	$Y = 3.66X_1 + 4.89X_2 + 5.52X_3 + 5.10X_4 + 4.79X_5$			
$\text{CaCO}_3$	$Y = 4.4389 + 3.2546X - 4.5576X^2$ (抛物线)	0.3493	4.2587*	1.1602
有效氮	$Y = 5.1622 + 0.8038 \log X$ (对数)	0.2575	4.687*	1.1836
有效磷	$Y = 1.6866X + 4.0378$ (线性)	0.3264	7.8721**	1.1578

1) Y 为固氮活性 [ $\mu\text{mol}/(\text{g} \cdot \text{h})$ ]. 临界 F 值:  $F_{0.05} = 3.98, F_{0.01} = 7.01$ .

## 2.2 固氮能力的变化

林木的共生固氮量取决于结瘤量的大小及根瘤活性高低,单株林木的固氮量与树龄的关系也是很明显的.在幼壮龄林阶段,它们随着树龄的增长而增强,尽管活性趋势在减弱,但由于根瘤生物量增长的速度更大,所以固氮量仍逐年上升.调查资料还表明,单株林木固氮量较高的是在盐亭、乐至两县,这与结瘤量的高低是一致的.在同一地区由于生态条件的不同,固氮能力有所差异.

### 2.2.1 简单相关分析

不同生态-土壤因素与固氮量的关系,可用一元线性和非线性方程表述,10项单因素中有5项达到显著水平(表2),pH、质地、CaCO<sub>3</sub>与固氮量呈极显著相关.

表2 柞木固氮量与生态因子的相关方程和它们的各级权重<sup>1)</sup>

Table 2 Correlative equation between amount of N<sub>2</sub>-fixed and ecological factors and their weight

因子	方程、权重	R	F	S(e)
质地	$Y = 4.2695 e^{-1.3290X}$ (指数) $Y = 3.58X_1 + 4.07X_2 + 4.17X_3 + 2.26X_4 + 0.99X_5$	-0.377	10.9347**	2.4745
pH	$Y = 0.0524 e^{2.3819X}$ (指数)	0.4671	18.4139**	2.4300
CaCO <sub>3</sub>	$Y = 1.2880 + 10.7487X - 9.8028X^2$ (抛物线)	0.4448	8.0149**	2.1757
有效氮	$Y = 3.0344 e^{-1.1889X}$ (指数)	-0.2732	5.3221*	2.5261
有效磷	$Y = \frac{X}{0.0193 + 0.6648X}$ (线性)	0.2592	4.7526*	2.9562

1) Y为固氮量[mg氮/(株·h)], 临界F值:  $F_{0.05} = 3.98$ ,  $F_{0.01} = 7.01$ .

随着pH值的增加,固氮能力提高,pH值与固氮量呈指数函数相关;CaCO<sub>3</sub>含量与固氮量呈抛物线相关,含量过高时有明显的抑制作用;质地轻的条件具有较高的固氮能力,这与结瘤量较高有关,质地粘重,结瘤少,固氮能力减弱;有效氮对固氮能力影响有两方面,一方面限制结瘤,另一方面在本区与活性呈正相关.固氮能力分析的结果说明,前者使固氮量降低是主要方面;有效磷对固氮有促进作用,随着土壤中有效磷含量的增加,固氮量增高.这些结果是进一步分析的基础.

### 2.2.2 交互因素的模拟

5项因素之间的相关系数,可反映它们之间的关系,可能形成一些交互因素(表3).

由表3分析说明,pH和CaCO<sub>3</sub>之间,正相关性较强,在CaCO<sub>3</sub>存在的条件下,pH受CaCO<sub>3</sub>影响明显,CaCO<sub>3</sub>含量增加,pH值升高、碱性增强;pH,CaCO<sub>3</sub>分别与有效氮呈负相关,即pH,CaCO<sub>3</sub>高的土中有效氮含量降低.5项因素与固氮量的关系在表2中的方程已经列出,它们相关指数较高,但并非都属线性相关,还值得注意的是质地和有效氮分别与固氮量均呈负相关.

5项因素用计算机按相加、乘、乘积开方的形式两两搭配,形成交互因素<sup>[2]</sup>.经简单相关分析表明,与固氮量Y呈显著相关方程(表4).

这些交互因素,除质地和有效氮外,均是正的影响,在质地粘重和有效

表3 5项因素间的相关系数

Table 3 Correlative coefficient among 5 ecological factors

因素	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>
X <sub>1</sub> 质地	1	-0.18	-0.25	0.21	-0.11
X <sub>2</sub> pH		1	0.53	-0.58	0.25
X <sub>3</sub> CaCO <sub>3</sub>			1	-0.53	0.03
X <sub>4</sub> 有效氮				1	-0.04
X <sub>5</sub> 有效磷					1

氮高的情况下是负作用,不利于固氮.

表 4 桉木固氮量与交互因素的简单相关

Table 4 Simple correlation between amount of N<sub>2</sub>-fixed and interactive

因素	方程	总 R	总 F	S(e)
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	Y=3.1827X <sup>0.1737</sup> (幂函数)	0.2924	6.1717*	2.5074
X <sub>1</sub> +X <sub>4</sub>	Y=-3.5746X+4.7453(线性)	-0.3315	8.1456**	2.2744
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	Y=1.4130+10.1676X-9.1653X <sup>2</sup> (抛物线)	0.4277	7.2773**	2.1958
X <sub>2</sub> +X <sub>4</sub>	Y=2.3196 e <sup>-0.0259/X</sup> (指数)	0.3220	7.6337**	2.5421
X <sub>2</sub> X <sub>5</sub>	Y=2.4623 e <sup>-0.0141/X</sup> (指数)	0.3760	10.8677**	2.4976
X <sub>3</sub> X <sub>4</sub>	Y=1.8009+1.2135X-11.766X <sup>2</sup> (抛物线)	0.4005	6.2093*	2.2580
X <sub>3</sub> X <sub>5</sub>	Y=1.4096+8.9605X-8.2296X <sup>2</sup> (抛物线)	0.3847	5.6440*	2.2423

临界 F 值: F<sub>0.05</sub>=3.98, F<sub>0.01</sub>=7.01.

### 2.2.3 多元回归方程

单因素和交互因素的简单相关,都是在不理睬其他因素影响时的相关关系,在多因素同时存在的自然情况下,必须研究它们的复相关关系,才能比较可靠地反映客观实际<sup>[3]</sup>.多元方程的拟合,除选择显著相关的单因素外,亦选择达显著水平的交互因素进行综合分析,由于交互因素的存在,因素间相关关系较密切,某一交互因素对 Y 值的影响,可能由另一相关因素体现,给分析带来复杂性,逐步回归剔除对 Y 关系不大的变量后,方程总相关显著,估计标准误 S(e)较小时,则认为是较适宜的方程

$$Y = -3.8737(X_1 + X_4) - 8.9011X_2 + 12.4184(X_2 + X_4) \\ + 1.6492X_3X_4 - 9.1325X_4 + 9.2837,$$

$$\text{总 } R = 0.5252, \quad \text{总 } F = 4.7241^{**}, \quad S(e) = 2.1165,$$

$$d \cdot f = 5,62, \quad \text{临界 } F_{0.05} = 2.37, \quad F_{0.01} = 3.34.$$

方程各项的 F 值如下

因素	F 值	临界 F 值
X <sub>1</sub> +X <sub>4</sub>	5.2427	F <sub>0.05</sub> =4.00
X <sub>2</sub>	4.2701*	F <sub>0.01</sub> =7.08
X <sub>2</sub> +X <sub>4</sub>	8.5418**	
X <sub>3</sub> +X <sub>4</sub>	1.2432	
X <sub>4</sub>	4.7687*	

综合方程表明: pH 值 X<sub>2</sub>、质地 X<sub>1</sub> 分别和有效氮 X<sub>4</sub> 的交互作用,是影响桉木固氮的主要因素;其次 pH 和有效氮作为单因素亦有显著影响;再次 CaCO<sub>3</sub> 含量 X<sub>3</sub> 也有一定作用,由于它与 pH 相关性密切,可能部分信息为 pH 所代替,影响它的 F 值. 这一结果和简单相关有较大的一致性. 本区土壤的有效磷含量一般很低,简单相关说明,有效磷对固氮影响是显著的,在综合方程中,贡献不大,表明磷素普遍不足,甚至可能是限制因素.

本实验检测的生态因素有限,有的因素可能很重要而未能检测到,所以方程的精度还不够高,由于已测定了一些重要因素,拟合的方程仍达到极显著的水平. 就方程的总体来说,仍可算是一个较好的综合模式. 方程可算出不同条件固氮的理论值,由于统计提供的概率保证,根据上面查明的重要因素,可评价和预测共生体在不同条件下的固氮潜力. 从

土壤种类来看,在低钙质和壤质紫色土固氮能力较高,在酸性的重壤质或粘质紫色土及黄壤固氮能力一般较低. 该资料可以作为比较评估不同林地共生固氮量高低的依据. 这些结果反映了固氮能力空间分布的一些特点,在固氮量高的林地无疑有利于土壤改良和林木生长.

林分总的固氮能力与桉木在林分中的数量有关,林分组成和结构的不同,固氮量会出现较大幅度的变化,林分的年固氮量可根据林分根瘤的生物量及活性的季节动态作出概算,其结果尚需用其他方法比较核实<sup>[4]</sup>.

### 2.3 后续植物的生长效应

杜仲是我国特有的一种经济植物. 其树皮是名贵药材,枝、皮、果均含杜仲胶,是优质的工业原料;树干是高级良材,国家列为二级珍稀濒危植物,加以重点保护和发展<sup>[5]</sup>.

实验区用一年生苗栽植在前期为桉木林地或农耕地上,幼树第一年生长情况如表 5.

表 5 杜仲在不同地类上的生长情况

Table 5 Growth in height of the *Eucommia* on the different land type

地类及前作	结瘤固氮及施肥		土 壤		样地数	植株高(m)		生长率(%)
			pH	有机质(g/kg)		栽植时	栽后一年	
桉木林迹地	瘤重 128(g/株)	固氮量 18.75[g/(hm <sup>2</sup> ·h)]	8.59	14.76	3	0.89±0.08	1.47±0.14	58±7
农耕地	施常量农家肥和化肥		8.60	11.28	3	1.19±0.04	1.56±0.01	35±2

参考文献[6]论证过桉木人工林改良了土壤理化特性. 本实验结果再次表明,桉木林对氮素和有机质含量明显增加,栽植在桉木林迹地上的杜仲,其生长率显著高于种植在农耕地上者,而且前者比后者栽植杜仲的叶片肥大、叶色深绿、脱落较晚,这些与原桉木根瘤的固氮作用等有关. 氮素营养在土壤中的生物富集,促进后续植物的生长发育良好. 这说明固氮树种的栽植,是改良土壤的有效途径. 同时也应看到,杜仲的经济价值远较桉木高,在适生范围内把桉木林改造为杜仲林,将大幅度提高林分的经济效益,发挥土壤的潜在肥力,提供从低价林转化为高价林的一种模式. 实践证明,积极利用固氮资源,科学布局栽培植物与合理轮作,依靠生态系统内部营养物质的积累和再分配,能够有效提高山丘区的生产力和经济效益. 树木固氮的后效问题,在文献上很少见到报道,这可说是一个初步的结果.

### 参 考 文 献

- [1] 刘国凡,邓廷秀. 桉木人工林结瘤固氮的时空变化及其对后续植物的效应(1). 山地研究,1996,14(增刊):25~29.
- [2] 刘国凡,邓廷秀. 土壤条件影响刺槐固氮的回归模型. 土壤学报,1991,25(4):439~446.
- [3] 莫先栋. 农业实验统计学. 上海:上海科学技术出版社,1984. 499~536.
- [4] 邦德 G. 陈冠雄等译. 非豆科植物的根瘤系统. 见:生物固氮研究法. 北京:科学出版社,1987. 98~116.
- [5] 中南林学院主编. 经济林栽培学. 北京:中国林业出版社,1983. 238~241.
- [6] 邓廷秀,刘国凡. 桉柏混交林的初步研究. 植物生态学和地植物学学报,1987,11(1):59~66.

## TIME-SPACE VARIATION OF NODULATION AND NITROGEN FIXATION IN ALDER PLANTATION AND ITS AFTER-EFFECT ON PLANT GROWTH ( I )

Deng Tingxiu Liu Goufan

*(Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences  
& Ministry of Water Conservancy Chengdu 610041)*

### Abstract

The  $N_2$ -fixation activity of the alder plantation in the hill and mountain region of Sichuan Basin was  $3\sim 6\mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{h})$  generally. It was influenced by the developmental stage, tree age, seasonal change and ecological conditions etc. Its variable range was considerable, but regularity was evident. The amount of nitrogen fixation in the 5a alder was  $1\sim 4\text{mg}/(\text{plant}\cdot\text{h})$  and increased with tree age. The magnitude of  $N_2$ -fixation depended on the weight of nodulation to considerable extent. The interaction of the soil pH, texture with available N respectively was main factor of effect on  $N_2$ -fixing amount. The pH and available N as a single factor also had significant effect. Overall, higher  $N_2$ -fixation capacity of symbiont occurred in the loamy and low calcareous purplish soils, but in a heavy loamy or clay acid purplish soils and yellow earth it decreased markedly. The growth rate in height of the *Eutommia* on land after cutting the alder has been better than on the cultivated soils. The alder nitrogen fixation promoted growth of the after crop.

**Key words** Alder, nitrogen fixation, multivariate analysis