

623-531

7566(10)

第16卷第6期

生态学报

Vol. 16, No. 6

1996年12月

ACTA ECOLOGICA SINICA

Dec., 1996

桉柏混交林根系的研究

石培礼

钟章成

李旭光

(西南师范大学生物系, 重庆, 630715)

A

摘要 研究了桉柏混交林和柏木纯林的根系组成、根系形态特征和根量分布, 并比较了这两种林型根系的生物量、生产力和氮元素在根库中的积累与分布规律。结果表明, 不同物种、同一物种在不同林型中根系的重量、组成、形态和分布有较大差异。在桉柏混交林中, 桉木根系分布浅, 侧根发达, 细根相对比例少; 柏木根系分布较深, 在不同土层分布较均匀, 吸收根和细根相对含量较高。与混交林相比, 柏木纯林根系主要集中在0~40 cm土层中, 吸收根和细根所占比例增大, 增强了对环境的适应。18龄桉柏混交林根系生物量为22.23 t/hm², 净生产力为1.24 t/hm²·a, 为柏木纯林的1.5倍。根加氮贮量在混交林中为71.04 kg/hm², 是纯林49.45 kg/hm²的1.55倍。

关键词: 桉木, 柏木, 混交林, 根系研究, 氮素积累。

森林生态学

A STUDY ON ROOT SYSTEM OF ALDER AND CYPRESS MIXED PLANTATION

Shi Peili

Zhong Zhangcheng

Li Xuguang

(Department of Biology, Southwest China Normal University, Chongqing, 630715, China)

Abstract This paper deals with the composition, morphological characteristics and dimention-al distribution of root system in alder and cypress mixed plantation. The stand biomass and productivities, nitrogen accumulation and its distribution of root system have also been compared in different types of forests. The results show that the biomass, composition, morphology and distribution of root system of different species and different stands vary significantly. In the mixed forest, the root system of alder trees grow usually in upper soil layer. The lateral root is rich, while the relative proportion of the absorbed root and fine root is smaller. Instead, the cypress root system is much deeper and the relative proportion of the absorbed root and the fine root is comparely larger. On contrast with the mixed forest, the root system of pure forest mainly distributes in the soil layer of 0~40 cm. The proportion of root system less than 1.0 cm in diameter increases, which enhance the adaptability to the environment. At 18 years old, the root system biomass and net primary productivity of the mixed forest are 22.23t/hm² and

• 国家“八五”科技攻关专题提供资助, 阳小成同志协助野外工作, 谨致谢忱。

•• 现为中国科学院自然资源综合考察委员会博士研究生。

收稿日期: 1994-10-28, 修改稿收到日期: 1996-03-05。

1.24 t/hm² 和 1.15 倍, 分别是纯林和纯柏木林的 1.15 倍和 1.55 倍。根际微生物(特别是共生根瘤菌)的活动将土壤或空气中的氮转化成植物体可利用的有机氮化合物。此外, 根系残体是土壤有机质的来源之一, 根系死亡后留下的孔隙也是通气透水的孔道。因此, 根系的活动, 直接影响植物的生长和代谢过程, 根系对土壤的结构也有一定的改良作用。研究根系在土壤中的生长和分布状况, 对于了解森林生态系统中的矿质营养、水分动态、树种混交效益和根系竞争都有重要的意义。本文对桉柏混交林根系生物量动态、分布特征及氮元素积累做了一些探索性工作, 旨在为长江中上防护林体系效益计量评价提供参考。

Key words: *Alnus cremastogyne*, *Cupressus funebris*, mixed plantation, root system, nitrogen accumulation.

根系是森林群落的重要组成部分, 是高等植物与土壤接触的器官。根系在土壤中吸收水和矿物质, 合成和贮存有机物, 并借助其与土壤形成的力学结构维持地上部分的直立生长^[1]。根际微生物(特别是共生根瘤菌)的活动将土壤或空气中的氮转化成植物体可利用的有机氮化合物。此外, 根系残体是土壤有机质的来源之一, 根系死亡后留下的孔隙也是通气透水的孔道。因此, 根系的活动, 直接影响植物的生长和代谢过程, 根系对土壤的结构也有一定的改良作用。研究根系在土壤中的生长和分布状况, 对于了解森林生态系统中的矿质营养、水分动态、树种混交效益和根系竞争都有重要的意义。本文对桉柏混交林根系生物量动态、分布特征及氮元素积累做了一些探索性工作, 旨在为长江中上防护林体系效益计量评价提供参考。

1 研究对象与方法

所研究的桉柏混交林位于川中丘陵北部的盐亭县, 属四川盆地中亚热带偏湿性常绿阔叶林紫色土区, 丘陵地貌为主, 海拔 400~600 m。具盆地亚热带湿润季风气候特征, 年降雨量 880 mm, 年均温 17.3℃, 无霜期 294 d。该区植被以桉柏混交林和柏木疏林为主, 林下灌木和草本稀疏。主要乔木和灌木树种有桉木(*Alnus cremastogyne*)、柏木(*Cupressus funebris*)、黄荆(*Vitex negundo*)、马桑(*Coriaria sinica*)、刺梨(*Rosa roxburghii*)、栓皮栎(*Quercus variabilis*)等。草本多为禾本科(*Gramineae*)、莎草科(*Cyperaceae*)、菊科(*Compositae*)、唇形科(*Labiatae*)和豆科(*Leguminosae*)等植物组成。

根据样方调查结果选择桉柏混交林中相邻的能代表各龄林分径级的桉木和柏木的平均标准木, 同时选择 18 龄混交林和柏木纯林标准木的根系进行比较分析, 共伐取标准木桉木 16 株、柏木 23 株。

将标准木地上部分自根颈处伐倒, 地下部分采取全挖法, 按 0~10 cm, 10~20 cm, 20 cm 土层以下按 20 cm 为一级分层将根系按自然状态挖出, 每层用网格法在坐标纸上绘出根系的水平分布和垂直分布图。然后将根系分层按根桩、粗根(>2.0 cm)、中根(1.0~2.0 cm)、细根(0.5~1.0 cm)、吸收根(<0.5 cm)标准分级称取鲜重, 并分层分级采鲜样品回实验室烘干, 测含水率, 再换算各级根干重。按相对生长理论^[2]建立各级根系生物量与其树高(H)和胸径平方(D^2)乘积的回归方程:

$$W = a(D^2H)^b$$

根据各径级立木株数和以上关系式可计算林分根系生物量(Draut 法)^[2]。采用平均净生产力作林分根系净生产力的指标。

取 18 龄桉柏混交林和柏木纯林各层各级根样洗净烘干后, 用粉碎机粉碎至粉末, 过 60 号筛(孔径 0.25 mm)、贮于试剂瓶中。各径级根系含氮量测定采用凯氏定氮法, 各级根系氮元素积累量由各级根系生物量与各级根含氮量乘积计算而得。

2 结果与分析

2.1 桉柏混交林根系相对生长测定

研究表明,同地上部分一样,地下部分各级根生物量与胸径的平方和树高的乘积(即 D^2H)间也有较好的幂函数关系^[5~7]。采用最小二乘法建立标准木各级根生物量依赖胸径和树高的相对生长关系式(表 1),拟合的回归方程均达极显著相关水平($p < 0.01$)。

表 1 桉木和柏木标准木根量与胸径平方和树高乘积的回归方程(生物量: kg)
Table 1 The root biomass of standard trees of alder and cypress and their regression equations
on products of square diameters at breast height level and height (biomass: kg)

树 种 Species	径 级 Diameter Class	回归方程 Regression equation	相关系数 Correlation coefficient	样本数 Sample	标准回归误差 Sandard d error
桉 木 Alder	根 桩 Root collar	$W_1 = 3.1034 \times 10^{-5} (D^2H)^{0.9716}$	$r = 0.99$	$n = 16$	0.015
	粗 根 >2.0 cm	$W_2 = 3.4899 \times 10^{-5} (D^2H)^{1.4731}$	$r = 0.93$	$n = 16$	0.052
	中 根 1.0~2.0 cm	$W_3 = 1.4859 \times 10^{-3} (D^2H)^{0.8847}$	$r = 0.98$	$n = 16$	0.031
	细 根 0.5~1.0 cm	$W_4 = 1.0510 \times 10^{-2} (D^2H)^{0.6556}$	$r = 0.97$	$n = 16$	0.026
	吸收根 <0.5 cm	$W_5 = 1.7446 \times 10^{-2} (D^2H)^{0.3864}$	$r = 0.94$	$n = 16$	0.028
	地下部分总数 Total	$W_T = 1.5653 \times 10^{-2} (D^2H)^{0.8578}$	$r = 0.99$	$n = 16$	0.019
柏 木 Cypress	根 桩 Root collar	$W_1 = 1.4667 \times 10^{-2} (D^2H)^{0.7516}$	$r = 0.97$	$n = 23$	0.049
	粗根+中根 >1.0 cm	$W_{2+3} = 1.294 \times 10^{-3} (D^2H)^{1.1056}$	$r = 0.97$	$n = 23$	0.064
	细 根 0.5~1.0 cm	$W_4 = 5.3840 \times 10^{-3} (D^2H)^{0.8340}$	$r = 0.99$	$n = 23$	0.027
	吸收根 <0.5 cm	$W_5 = 1.8073 \times 10^{-2} (D^2H)^{0.5457}$	$r = 0.93$	$n = 23$	0.040
	地下部分总数 Total	$W_T = 0.0415 \times 10^{-2} (D^2H)^{0.6765}$	$r = 0.97$	$n = 23$	0.043

2.2 桉柏混交林不同年龄阶段根系的组成

根系的组成指各径级根的生物量及其占总根量的比例。桉木各级根生物量分配的总趋势是: $W_{根桩} > W_{粗根} > W_{中根} > W_{细根} > W_{吸收根}$, 这与根系生物量分配的一般规律相一致,但在不同年阶段根系生物量分配各不相同。幼龄期是根系的发展期,幼根的生长速度大于粗根,如 2 年生时,根系生物量分配是 $W_{细根}(35.92\%) > W_{吸收根}(35.67\%) < W_{根桩}(22.58\%) > W_{中根}(5.83\%)$ 。随着林龄的增长,根系生物量主要积累到起支撑作用的根桩和大于 2.0 cm 的粗根中,细根和吸收根的根量减少幅度较大。如 6 年生时根量的分配是 $W_{根桩}(43.14\%) > W_{粗根}(20.63\%) > W_{吸收根}(13.92\%) > W_{细根}(12.73\%) > W_{中根}(9.58\%)$ 。7 龄以后平均 $W_{根桩}(51.22\%) > W_{粗根}(25.41\%) > W_{中根}(11.38\%) > W_{细根}(6.86\%) > W_{吸收根}(5.13\%)$ 。这主要是细根和吸收根一部分生长成为中根和粗根,一部分枯损的原因而造成

的,这与江苏湿地松人工林根系组成是一致的^[4]。

各龄林分柏木根系生物量在各级根中分配规律为 $W_{\text{根桩}} > W_{\text{粗根+中根}} > W_{\text{吸收根}} > W_{\text{细根}}$ 。随着林龄的增长,柏木单株根系中根桩和 >1.0 cm 的根系生物量积累加剧,而吸收根和细根所占的比例逐渐降低。特别是 $W_{\text{吸收根}} > W_{\text{细根}}$,而且两者所占的相对比例比桉木根系中吸收根和细根所占比例大,这可能与柏木根系吸收能力较强和耐旱耐瘠有一定的联系。

2.3 桉柏混交林根量的分布和根系的形态特征

桉木为浅根型树种,侧向根系发达,但在土壤深厚的地方也可以形成较深的根系^[2]。据其形态特征,桉木根系介于散生根型(heartroot)和水平根型(flatroot)之间,桉木没有明显的主根,由水平方向伸长的固着根和细而密集的网状根群所组成,粗根近乎水平生长。18年生桉木根幅达可达 $6.0\text{ m} \times 6.0\text{ m}$,根系主要分布于 $0 \sim 20$ cm 土层中,占总根量的 77.73%。若把根桩除外,此层内根系占全根系的 63.33%(表 2)。桉木根系分布浅,细根和吸收根密集交叉成网状分布于表层土壤中,在野外还可以看到粗根突出于土表位于凋落物之下,这与杉木火力楠混交林中火力楠根系的分布相似^[8]。桉木根系分布浅有利于保证根系固氮所需的良好通气条件,有利于对矿质元素的吸收和利用,因为矿质元素主要分布在表层土壤之中。

柏木根系类型介于浅主直根系(taproot)和散生根型之间,主根浅细,侧根发达,细小根系较多,穿插力强,在土壤浅薄的条件下,靠庞大的侧根四周扩展来增加营养吸收面积,籍以维持其正常发育^[9]。在土壤深厚的立地条件下,主根发育良好,根系分布深,在各层土壤中分布也比较均匀。在桉柏混交林中,柏木根系表现出明显的趋肥性,从根系水平分布来看,柏木根趋向桉木侧生长,在近桉木侧伸长幅度远大于远桉木侧,致使根量在两侧分布不均匀,近桉木侧根量一般比远桉木侧根量多 10%~30%。以 18 年生桉柏混交林中柏木根系水平分布调查为例,近桉木侧根系最大水平伸展幅度为 2.45 m,根量为 1151.3 g,分别比远桉木侧根系最大水平伸展幅度 1.90 m 和根量 901.7 g 高出 29.31% 和 27.69%。近桉木侧柏木和桉木根系呈镶嵌分布,在柏木细根周围常可见到桉木根瘤分布,桉木和柏木常发生根系连生现象。根系连生多发生在根瘤处,这可归因于柏木根系趋向根瘤的“向性生长”。桉木则在这一侧死根率增加,尤其以网状的吸收根群居多,可达细根和吸收根总量的 30% 以上,这可能是桉木根和柏木根水分竞争产生的结果。桉木根系死亡后矿质元素归还土壤与其死根穴道对柏木根系的扩展和生长有促进作用。

与桉木相比,在混交林柏木各径级根系生物量的分布中,细根和吸收根所占比例较大,以 18 年生桉柏混交林为例,柏木达总根量的 14.2%,而桉木仅为 8.47%。这就可能造成桉木根系竞争的劣势,16 a 后桉柏混交林中桉木衰亡加速的一大原因可能归咎于此。

混交林中柏木根系在各层土壤中的垂直分布相对均匀,不如桉木根系分布那样集中(表 2),根系主要分布在 $0 \sim 40$ cm 土层中,包括根桩在内占总根量的 92.21%,除根桩外有 76.26% 的根系分布在此段土层中。柏木根系向土壤深层分布,这除了与柏木的生物学特性有关外,还有利于利用深层土壤中的水分和养分,提高了对资源的利用效率,避免了种间根系的过度竞争。

与混交林相比,同龄柏木纯林中柏木根系分布要浅一些,根系主要集中分布于上层土壤中,并且细根和吸收根的比例增加,粗根比例减少。如 18 年生柏纯林 $0 \sim 40$ cm 土层中根量占总量的 91.91%,除根桩外有 83.34% 的根系分布在此段土层中(表 2),细根和吸收

表 2 18 年生桉柏混交林和柏木纯林根量的垂直分布
Table 2 The vertical distribution of root biomass in the alder and cypress mixed forest and pure cypress forest at the age of 18 years

土层深度		桉木 Alder				柏木 Cypress				柏木纯林 Pure cypress forest						
Depth of soil (cm)	根 桩	粗 根	中 根	细 根	吸收根	小 计	根 桩	粗 + 中根	细 根	吸收根	小 计	根 桩	粗 + 中根	细 根	吸收根	小 计
	Root collar	>2.0 cm	1.0~2.0 cm	<0.5~1.0 cm	<0.5 cm	Sub total	Root collar	>1.0 cm	0.5~1.0 cm	<0.5 cm	Sub-total	root collar	>1.0 cm	<0.5~1.0cm	<0.5 cm	Sub-total
0~10	3992.8	456.5	278.2	155.2	133.3	5016.0	1677.7	261.6	68.9	63.9	2072.1	808.4	152.1	60.1	78.1	1098.7
	36.72	4.20	2.55	1.43	1.22	16.12	33.69	5.25	1.38	1.28	41.63	31.48	5.92	2.35	3.04	42.79
	54.27	27.73	29.30	30.25	32.69	29.10*	57.33	19.17	17.26	20.59	19.21*	61.20	20.84	24.24	29.00	23.26*
10~20	2233.6	528.6	340.0	191.1	144.2	3437.5	663.0	277.2	93.0	68.7	1101.9	314.4	183.4	71.4	72.7	641.8
	20.54	4.86	3.13	1.76	1.32	31.61	13.31	5.56	1.87	1.38	22.12	12.24	7.14	2.78	2.83	24.99
	30.36	32.11	35.80	37.24	35.33	34.23	22.66	20.63	23.32	22.13	21.38*	23.80	25.12	28.75	27.00	96.24*
20~40	1130.8	364.8	214.2	102.6	95.5	1997.9	585.7	471.9	160.5	99.9	1318.0	198.1	264.7	77.1	79.8	620.0
	10.40	3.36	1.97	0.94	0.88	17.55	11.76	9.47	3.22	2.01	26.46	7.71	10.30	3.01	3.11	24.13
	15.37	22.16	22.56	20.00	23.12	22.11*	20.01	35.12	40.23	32.21	35.67*	15.00	36.27	31.16	29.60	33.82
40~60	0	202.7	79.9	15.1	25.2	352.9	0	184.8	45.3	44.2	271.3	0	91.6	27.1	21.6	140.3
	0	1.86	0.74	0.41	0.24	3.25	0	3.72	0.91	0.89	5.52	0	3.57	1.05	0.84	5.16
	0	12.31	8.12	8.78	6.19	10.04*	0	13.75	11.35	11.23	13.36*	0	12.56	10.89	8.00	11.24*
60~80	0	93.7	21.7	11.2	7.0	139.6	0	111.8	25.0	25.7	162.5	0	26.3	10.8	12.8	49.9
	0	0.86	0.23	0.13	0.06	1.28	0	2.24	0.50	0.51	3.25	0	1.03	0.42	0.50	1.95
	0	5.59	2.60	2.75	1.72	3.97*	0	0.32	6.27	8.28	7.92*	0	3.61	4.33	4.75	4.00*
>80	0	0	12.3	5.0	2.6	19.9	0	36.1	6.3	7.9	50.6	0	11.7	1.6	4.4	17.7
	0	0	0.11	0.05	0.003	0.19	0	0.73	0.13	0.16	1.02	0	0.45	0.06	0.17	0.68
	0	0	1.30	0.98	0.65	0.56*	0	2.71	1.57	2.56	2.46*	0	1.60	0.63	1.65	1.42*
合 计	7357.2	1646.3	949.3	513.2	407.8	10873.9	2926.4	1343.7	399.0	310.3	4979.4	1320.9	729.7	248.4	269.4	2588.4
	67.66	15.14	8.73	4.72	3.75	100	58.79	26.97	8.01	6.23	100	51.13	28.41	9.67	10.49	100
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

1 根量(%) Root biomass; 2 同种的各级根占同种总根量的百分数(%) proportion of different class root in the total; 3 同级根在各层土壤中的百分数分布(%) proportion of the same class root at different depth of soil; * 除根粗外同种各级根量在各层土壤中的百分数分布(%) proportion of different class root except for root collar at different depth of soil.

* 桉柏混交林

根所占的相对比例教研室 20.16%, 为混交林中柏木 14.24% 的 1.42 倍, 此外, 吸收根比例大于细根。这与柏木纯林中矿质营养相对贫乏, 土壤理化性质不良有关。柏木根系主要分布在营养元素含量相对较高的上层土壤中, 并且吸收根相对含量增加, 增大了柏木根系营养吸收的表面积, 增强了根系的吸收能力。

可见, 立地条件的差异不仅会影响同种植物根系分布的深浅和在不同土层中的垂直分布, 而且对不同径级根系生物量的分配比例也有重要的影响, 表现出根系生长对环境适应的可塑性。

由表 2 可知, 混交林中柏木标准木总根量和吸收根量分别为柏木纯林的 1.94 倍和 1.15 倍, 可见桤柏混交能显著提高柏木的总根量和吸收根量。从根系的垂直分布可以看出, 柏木纯林标准木根量除在 0~10 cm 和 10~20 cm 土层中吸收根量大于混交林中柏木的吸收根量以外, 其它层次级根量都小于混交林柏木在对应土层的各级根量, 这说明了柏木纯林中吸收根所占的重要地位和作用。

在桤柏混交林中, 根系镶嵌分布现象十分明显。在 0~20 cm 土层内根量以桤木为主, 柏木根量相对较少, 除根桩外, 63.33% 的桤木根系分布在此层, 而柏木仅占 40.59%; 吸收根桤木占 68.02%, 柏木占 42.72%。而在 20~40 cm 土层中以柏木根量相对比例较多, 此层柏木根量占 35.67%, 而桤木仅占 22.1%。在 40 cm 土层以下, 以柏木根量居多, 桤木根量占总根量的 14.57%, 柏木则占总根量的 24.84% (表 2)。

表 3 18 年生桤柏混交林和柏木纯林根系的生物量和净生产力

Table 3 The root biomass and net productivity in the alder and cypress mixed forest and pure cypress forest at the age of 18 years

林分 Stand	桤柏混交林 alder and Aypress mixed forest		柏木纯林 Pure cypress forest
	桤木 Alder	柏木 Cypress	
树高(m) Height	13.2	9.11	7.20
胸径(cm) Diameter	12.74	8.92	6.88
蓄积量(m ³ /hm ²) Stock	160.78		97.94
根系生物量(t/hm ²) Biomass of root			
根桩 Root collar	$\frac{6.10}{27.44\%}$	$\frac{7.77}{34.95\%}$	$\frac{9.98}{51.43\%}$
粗根 >2.0 cm	$\frac{1.26}{5.67\%}$	$\frac{2.17}{9.77\%}$	$\frac{3.03}{15.63\%}$
中根 1.0~2.0 cm	$\frac{0.89}{4.01\%}$	$\frac{1.39}{6.26\%}$	$\frac{2.48}{12.78\%}$
细根 0.5~1.0 cm	$\frac{0.50}{2.25\%}$	$\frac{1.08}{4.84\%}$	$\frac{1.88}{9.67\%}$
吸收根 <0.5 cm	$\frac{0.26}{1.19\%}$	$\frac{0.81}{3.26\%}$	$\frac{2.03}{10.49\%}$
小计 Subtotal	$\frac{9.02}{40.56\%}$	$\frac{13.21}{59.44\%}$	
合计 Total	$\frac{22.23}{100\%}$		$\frac{19.40}{100\%}$
净生产力(t/hm ² ·a) Net productivity	1.24		1.08

表 4 18 年生桉柏混交林和柏木纯林根量及氮元素的积累与分布
Table 4 The vertical distribution of root biomass and nitrogen accumulation in the alder and cypress mixed forest and pure cypress forest at the age of 18 years (kg/hm^2)

上层深度 Depth of soil (cm)	桉柏混交林 Alder and cypress mixed forest						柏木纯林 Pure cypress forest					
	桉木 Alder			柏木 Cypress			合计 Total			根根 Root collar		
	根根 Root collar	粗+中根 >1.0 cm	细+吸收根 <1.0 cm	小计 Subtotal	根根 Root collar	粗+中根 >1.0 cm	细+吸收根 <1.0 cm	小计 Subtotal	合计 Total	根根 Root collar	粗+中根 >1.0 cm	细+吸收根 <1.0 cm
0~10	3311.01	608.64	238.95	4158.63	4456.41	693.64	351.44	5501.52	9660.15	6106.30	1148.33	1015.52
	9.65	3.89	1.90	15.43	9.46	1.82	1.42	12.70	28.13	11.66	2.74	3.67
10~20	1852.09	720.46	277.72	2850.24	1758.53	734.59	429.40	2922.52	5772.79	2374.24	1381.47	1088.20
	5.40	4.60	2.21	12.20	3.73	1.93	1.74	7.40	19.60	1.53	3.31	3.82
20~40	937.77	480.61	164.11	1582.49	1553.74	1251.2	690.99	3495.92	5078.41	1495.54	1997.93	1187.12
	2.73	3.07	1.31	7.10	3.30	3.29	2.79	9.38	16.48	2.86	4.77	4.17
40~60	0	234.44	58.61	293.05	0	491.49	237.82	729.31	1022.36	0	692.52	366.61
	0	4.19	0.47	1.96	0	1.29	0.96	2.25	4.22	0	1.65	1.92
60~80	0	98.28	17.13	115.41	0	295.95	133.44	429.39	544.80	0	194.79	178.46
	0	0.63	0.14	0.73	0	0.78	0.54	1.32	2.08	0	0.48	0.63
>80	0	9.92	7.22	17.14	0	96.45	38.32	134.77	151.91	0	87.29	44.62
	0	0.06	0.06	0.12	0	0.25	0.16	0.41	0.53	0	0.21	0.16
合计	6100.9	2152.35	763.74	9016.99	7768.71	3563.31	1881.41	13213.43	2230.42	9976.08	5510.83	3910.53
Total	17.77	13.73	6.08	37.58	16.49	9.39	7.61	33.46	71.04	19.04	13.16	13.74
												45.94

* 横线上根系生物量, 下为氮元素积累量

Data on the line are biomass of root, under the line are nitrogen accumulation.

2.4 不同森分根系的生物量与生产力

由表 3 可知, 18 年生桉柏混交林根系生物量为 22.23 t/hm^2 , 其中桉木根量为 9.02 t/hm^2 , 占总量的 40.56%, 柏木根量为 13.21 t/hm^2 , 占总量的 59.44%。18 龄混交林林分根系生物量是同龄纯柏林根系生物量 19.40 t/hm^2 的 1.5 倍。桉柏混交林根系平均净生产力为 $1.24 \text{ t/hm}^2 \cdot \text{a}$, 比柏木纯林净生产力提高了 14.81%, 说明桉柏混交能够比较显著地提高柏木林的林分生物量和净生产力。

2.5 桉柏混交林根加氮元素积累与分布

2.5.1 根库中氮元素积累量 根库氮元素积累(又称氮贮量)指氮元素在根系中的现存量。根据各径级根系含氮量和生物量乘积计算出不同林型根库氮元素贮量(表 4)。19 龄混交林根库氮元素积累量为 71.04 kg/hm^2 , 是同龄柏木纯林 45.95 kg/hm^2 的 1.55 倍。根库氮元素积累量在各径级根中的分配为: 在混交林中, 根桩 34.26 kg/hm^2 (占 48.22%); 大根($>1.0 \text{ cm}$)为 23.10 kg/hm^2 (32.52%); 小根($\leq 1.0 \text{ cm}$)为 13.68 kg/hm^2 (19.26%)。柏木纯林中, 根桩 19.04 kg/hm^2 (41.45%); 大根($>1.0 \text{ cm}$) 13.16 kg/hm^2 (28.64%); 小根($\leq 1.0 \text{ cm}$) 13.74 kg/hm^2 (29.19%)。除小径级根($\leq 1.0 \text{ cm}$)氮元素积累量桉柏混交林和柏木纯林几乎相等外, 大根和根桩的氮元素积累量都是混交林大于柏木纯林, 这是由于柏木小径级根量较大而引起的。因此, 柏木林中引入固氮树种桉木进行混交可明显提高根库中氮元素的积累量。这对提高土壤氮库利用率和加速氮素的生物循环有重要意义。

2.5.2 氮元素在不同土层根系中的分布 不同土层氮元素积累量的分布与该土层中根的生物量呈正相关, 土层中根量越大, 氮元素贮量越丰富。由表 4 可知, 无论是桉柏混交林还是柏木纯林, 要根库氮元素的积累量和根系生物量一样都主要分布在 $0\sim 20 \text{ cm}$ 土层中, 此土层混交林根库氮元素积累比柏木纯林高 17.99 kg/hm^2 , 混交林根系氮积累占总量的 67.19%, 纯柏林占总量的 64.73%。在 $20\sim 40 \text{ cm}$ 土层中, 混交林根系氮积累比柏木纯林高 4.69 kg/hm^2 , 混交林占总量的 23.20%, 柏木纯林占总量的 25.68%。在 $40\sim 60 \text{ cm}$ 土层中, 混交林根系氮积累比柏木纯林高 1.27 kg/hm^2 , 混交林占总量的 5.93%, 柏木纯林占总量的 6.40%。60 cm 以下土层混交林比柏木纯林高 1.14 kg/hm^2 , 混交林占总量的 3.68%, 柏木纯林占总量的 3.19%。由此可见, 混交林和柏木纯林根库中氮元素的积累在 $0\sim 20 \text{ cm}$ 土层中差异最显著, 20 cm 以下土层差异减少。表明 $0\sim 20 \text{ cm}$ 土层为桉木根系吸收和生物固氮最为活跃的区域, 这对提高林分氮元素积累和促进生物循环有重要作用。特别是桉柏混交林 18 龄以后桉木达到主伐年龄*, 伐掉桉木后, 其死亡根系氮元素的归还, 对提高林分养分和定向培育目的树种——柏木都是十分有利的。

3 结论

3.1 桉柏混交林根系的组成 随着林龄变化较大, 随着林龄增长, 根系生物量主要分配在根桩和粗根中, 细根和吸收根根量减少。但种间差异较大, 与桉木相比, 柏木根系中细根和吸收根相对含量较大, 这是与柏木根系吸收能力强、耐旱耐瘠薄的生理机能相适应的。

3.2 桉柏混交林中桉木为浅根型树种, 没有明显主根, 侧向根系发达。根系主要分布在 $0\sim 20 \text{ cm}$ 土层中。柏木为浅主直根型树种, 主根浅细, 侧根发达, 细小根系含量高, 根系穿插力强, 分布较深, 且在各土层中分布相对较均匀, 根系主要分布在 $0\sim 40 \text{ cm}$ 土层中。

* 石培礼, 桉柏混交林生态系统的研究, 硕士学位论文, 1993 (油印本)。

3.3 柏木根系生长对环境变化的适应有明显的可塑性。在立地条件较好的混交林中, 柏木根系分布较深, 并且在各层土壤中分布较均匀; 而在柏木纯林中根系分布相对较浅, 各级根集中向浅层土壤分布, 同时增加了细根和吸收根的相对含量, 增大了根系的吸收面积, 提高了根系的吸收能力。

3.4 桧柏混交促进了柏木根系生长, 提高了柏木单株根量和林分根系生物量及净生产力, 与同龄的柏木纯林相比, 混交林中木地上部分胸径、树高以及林分蓄积量都得以显著提高(表 3)。此外, 混交林中桧木和柏木根系呈镶嵌分布且柏木根系深扎, 避免了根系间的过度竞争, 为充分利用不同层次土壤中的水分和养分奠定了基础, 在川中丘陵石灰性紫色土土壤氮磷含量偏低情况下, 引进固氮树种桧木和乡土树种柏木混交, 改善了柏木的营养空间和生长条件, 提高了地力, 同时提高了人工林生态系统的生产力、抗逆性和稳定性, 因此, 营造桧柏混交林是科学的、合理的。

3.5 桧柏混交能显著提高根库中氮元素积累量, 桧柏混交林根库氮元素积累量的垂直分布随着土层加深而递减, 根库中氮元素积累主要分布在根桩和粗根中。因此, 在桧柏混交林中桧木成熟被砍伐后, 保留地下部分, 禁止采挖用作燃料, 对于氮元素的归还和对柏木后期生长及定向培育非常有利, 同时也有拦截地表径流和防治水土流失的作用。

参 考 文 献

- 1 罗汝英编著. 森林土壤学(问题和方法). 北京: 科学出版社, 1993. 367~404
- 2 木村伦. 姜恕等译. 陆地植物群落的生产量测定法. 北京: 科学出版社, 1981. 58~118
- 3 张其水, 俞新妥. 连栽杉木林的根系研究. 植物生态学与地植物学学报, 1991, 15(4): 375~379
- 4 叶镜中等. 苏南丘陵区杉木根系的生态特性. 南京林产工业学院学报, 1980, (1): 43~51
- 5 马明东等. 四川盆地西缘楠木人工林林分生物量的研究. 四川林业科技, 1989, 10(3): 6~14
- 6 汪企明, 石有光. 江苏湿地松人工林生物量的初步研究. 植物生态学与地植物学学报, 1990, 14(1): 1~12
- 7 四川植被协作组. 四川植被. 成都: 四川人民出版社, 1980. 90~133
- 8 李振河, 杨玉盛, 呈耀溪等. 杉木火力楠混交林根系的研究. 生态学杂志, 1993, 12(1): 20~24
- 9 中国林学会, 中国土壤学会森林土壤专业委员会主编. 森林与土壤. 北京: 科学出版社, 1981. 131~150