

马尾松混交林细根生物量研究

王 力, 吴福金, 邓文鑫, 余学明, 吴 磊

(宣州区林业局, 宣城 242000)

摘 要: 采用钻土芯与内生长相结合的研究方法, 将马尾松占其混交林的组成比例分成 5 种类型 (0~20%、21%~40%、41%~60%、61%~80%和 81%~100%), 设置 15 块 20 m×20 m 的标准样地, 系统比较了不同比例马尾松混交林 (马尾松占林分胸高断面积的比例) 细根生物量的分布状况、细根生长量及季节动态变化。结果表明: (1) 马尾松不同的混交比例对细根生物量有较大影响, 不同混交比例林分的细根生物量的大小依次为, 马尾松混交比例 41%~60% > 0~20% > 21%~40% > 81%~100% > 61%~80%。(2) 5 种比例混交林分的细根生物量垂直分布规律均很明显, 随土层增加细根生物量趋于减少, 且大部分细根集中于土壤表层 0~10 cm 的范围内。这与该地区的土层较浅以及树种根系的分布特性 (深根、浅根树种) 密切相关。(3) 5 种马尾松混交林细根生物量季节动态均呈单峰变化, 均在 6、7 月份达到峰值, 在 1 月份达到最低值, 41%~60% 林分年生物量净增值比其他 4 种混交林分要高。(4) 5 种混交林分的细根年生长量随季节变化明显, 最大值出现在 6~8 月份, 最小值出现在 12~3 月份。各个混交林分细根年生长量大小依次为 41%~60% > 61%~80% > 21%~40% > 81%~100% > 0~20%。

关键词: 马尾松混交林; 细根生物量; 安徽枞阳

中图分类号: S791.248

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2013)02-0225-08

Biomass and nutrient of fine-root in masson pine mixed forest

WANG Li, WU Fu-jin, DENG Wen-xin, YU Xue-ming, WU Lei

(Xuancheng District Forestry Bureau, Xuancheng 242000)

Abstract: In this article, 15 standard sample plots of 20 m×20 m were set in Dashan village, Zongyang county of Southern Anhui to analyze the effects of tree species composition on distribution, growth and seasonal dynamics of fine root biomass in 5 kinds of 20-year-old masson pine and broad-leaved mixed forests with combination of soil drilling and inner growth methods. The results are as follows. (1) Differences in species composition have a great effect on fine root biomass; the order for fine root biomass in 5 kinds of stands is 41%-60% > 0-20% > 21%-40% > 81%-100% > 61%-80%. (2) Fine root biomass increase with rise of soil layer for all sampling forest stands of masson pine and broad-leaved mixed woods. The vertical distribution might be closely related to soil depth and root characteristics in Dashan area. (3) Seasonal dynamics of five kinds of masson pine and broad-leaved mixed forest present a unimodal curve, and the maximum occurred in June and July, while the minimum in January. As to net value of biomass, the highest is in 41%-60% masson pine mixed woods. (4) The largest growth occurred from June to August, and the smallest from December to next March. The annual production of fine root in all stands were ranked by 41%-60% > 61%-80% > 21%-40% > 81%-100% > 0-20%.

Key words: Masson pine mixed wood; fine-root biomass; Zongyang county in Anhui province

细根(fine root)通常定义为直径<2 mm 的根和菌根, 具有较高的养分含量和净初级生产力^[1], 但到目前为止, 关于细根还没有确切的定义, 因为不同树种间细根在形态上和大小上都不相同, 甚至同一树种在不同的立地条件下也不相同^[2]。本研究将

直径<2 mm 的根作为细根。

细根作为森林生态系统根系的重要组成部分, 在物质循环和能量流动中均起着极其重要的作用。一方面, 细根是消耗净初级生产(碳水化合物)的汇, 另一方面, 又是供应植物水分和养分重要的源。植

物分配到地下部分(尤其是细根)的净初级生产量大于地上部分^[3],所以,细根是研究森林生态系统能量流动和物质循环的关键环节。因此,研究树木细根对全面认识森林生态系统的生态学过程和森林生产力的提高均具有非常重要的意义。

马尾松(*Pinus massoniana*)是我国松属树种中分布最广泛的一种,也是我国亚热带东部湿润地区典型的针叶乡土树种、最常见的建群种、人工造林常用的树种及我国南方重要的用材林树种和防护林树种,在亚热带森林资源中占有重要地位。然而营造的人工马尾松纯林,林分层次单一,结构简单,弱点逐渐暴露出来,引起林地地力衰退、林分抗逆性差、火灾频率增加等一系列问题,严重威胁林地的持续利用,已引起人们的广泛关注。为了更好地发挥森林的多功能效益,提高林分的抗逆性和稳定性,提倡混交林已成为当前国内外人工林营造的共同趋势。混交林能够通过种间关系的互补优势,改善生态环境,提高林分生产力。适宜的混交树种,能够改善环境条件,提高针叶林生态系统稳定性和维持较高的生产力。

鉴于混交林根系生长状况及相互关系对林分生产力及稳定性起着重要作用,作者通过对不同混交比例马尾松混交林细根生物量及生长量的研究,分析细根生产的季节动态,了解马尾松混交林根系基本特征,以便能更清楚地认知人工林生产力提高和产生良好生态效益的机制,为评价马尾松针阔混交林效益提供理论依据,对马尾松混交林的营造有着重要的理论和实践指导意义。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于安徽省枞阳县大山村的中国森林生态网络大山试验示范区,地理位置 117°04'~117°44'E、30°39'~30°05'N,流域面积约 3 800 hm²。西与桐城相邻;西南一隅与安庆市区毗邻;北与无为、庐江两县接壤;东南与铜陵、贵池两市隔江相望。该地属于北亚热带湿润气候区,年平均气温 16.5℃,年均日照约 2 046.9 h,年相对湿度平均为 76%,年均降雨量 1 326.5 mm,且分布不均,秋季少雨易发生夹秋旱^[4]。该地貌区深受南京凹陷和低山地影响,其特征以中低山为主,局部为丘陵、岗地地势较平缓,大多为 20°左右。山地成土母岩以花岗岩为主,山地土壤属中厚层麻沙土类,质地较轻,易于耕作,pH 值为 5.5~6.5,但土壤持水能力差,养分贫乏。

试验地大山村针阔混交林多分布于天然林的林缘,是人工种植未抚育的马尾松林,经 40 多年的封山育林由阔叶树种侵入发展而成,是人工林过渡到半天然林的类型。植被具有中亚热带向北亚热带落叶与常绿叶林混交过渡的特点,以马尾松等针叶纯林为主体,针阔混交林、阔叶林及毛竹林零星分布,林种、树种结构比较单一。群落结构明显,主要分为乔木层、灌木层和草本层,林分郁闭度在 0.4~0.8 之间。主要树种有化香(*Platycarya strobilacea*)、麻栎(*Quercus acutissima*)、枫香(*Liquidambar formosana*)、野鸦椿(*Euscaphis japonica*)、黄荆(*Vitex negundo*)、黄檀(*Dalbergia hupeana*)、山胡椒(*Lindera glauca*)和黄连木(*Pistacia chinensis*),其次是茅栗(*Castanea seguinii Dode*)、菝葜(*Smilax china*)、野桐(*Mallotus tenuifolius*)野蔷薇(*Rosa multiflora*)等,六月雪(*Serissa japonica*)、樟树(*Cinnamomum camphora*)、白蜡(*Fraxinus chinensis*)、槲栎(*Quercus dentata*)、欆木(*Loropetalum chinense*)等也有少量出现。

1.2 标准地划分与调查

试验主要研究对象是北亚热带最常见的树种马尾松的针阔混交林。在枞阳大山调查区内,通过踏查,设置 20 m×20 m 的标准地 15 块。按马尾松胸高断面积占比例选取 5 种具代表性的不同混交比例的马尾松阔叶树混交林(即 0~20%、21%~40%、41%~60%、61%~80%以及 81%~100%), (本文提到的混交比例是指马尾松胸高断面积所占整个混交林分胸高断面积之和的百分数),所选样地确保每种混交比例均重复 3 次,即每一处理建立 3 个 20 m×20 m 的标准样地,共计 15 块样地。

15 个固定标准地自然条件和土壤特性基本一致,即林地的生境因子(包括海拔、坡向、坡度、坡位、土壤特性及光、热、水分等)基本一致且林分年龄变化不大(20 年左右)。样地是在满足以上条件、林分状况相对一致的林内,远离林缘随机选取的 400 m² 林地。确保所测量记在的地形、坡度、坡向、海拔、地表状况等符合森林生态系分类方法。经调查各标准地林分状况如表 2 所示。

1.3 钻土芯法测定细根生物量

在马尾松占>80%、61%~80%、41%~60%、21%~40%及<20% 5 种混交比例的混交林标准地中,按 S 型选取 6 个样点,采用内径为 6.8 cm 的土壤钻,按 0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm 钻取土芯,15 个样地共挖取 90 个样点。土芯样编号后放入塑料袋内,用 1 mm 土壤套筛在流水中冲洗,将洗净

后的根系装入保鲜袋中带回实验室。将根系样品置于烘箱中在 60℃ 条件下适当干燥后, 利用游标卡尺、镊子、放大镜等工具进行根系分类, 分拣出直径(d) <2 mm 的细根和 2 mm $\leq d < 10$ mm 的粗根。由于常绿阔叶林幼林样地分布有少量毛竹, 在根系分类时也分出竹根。根系细分之后再置于烘箱中在

60℃ 下烘干至恒重, 称重。根系样品粉碎后, 装入塑料样品瓶中, 置于低温 (3~5℃) 下保存备化学分析用。

细根现存生物量的估算方法如下:

$$\text{现存量}(\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}) = \text{土芯细根平均重量} \times 10^2 / [\pi \cdot (6.8/2)^2]$$

表 1 大山固定样地林分概况
Table 1 General conditions of the sampling plots

样号 Code	混交比例/% Proportion of mixed-forest	海拔/m Elevation height	坡向 Slope	坡度/(°) Slope gradient	坡位 Slope position
1	0~20	163	南坡 South	23	上 Upper
2	0~20	70	南坡 South	10	中 Middle
3	0~20	161	东坡 East	18	下 Below
4	21~40	62	西北坡 Northwest	23	中 Middle
5	21~40	90	西坡 West	29	下 Below
6	21~40	162	南坡 South	11	中 Middle
7	41~60	217	南坡 South	27	上 Upper
8	41~60	102	南坡 South	24	中 Middle
9	41~60	170	南坡 South	21	上 Upper
10	61~80	96	东坡 East	18	下 Below
11	61~80	68	西南坡 Southwest	20	下 Below
12	61~80	156	东南坡 Southeast	15	中 Middle
13	81~100	217	西南坡	21	上 Upper
14	81~100	157	南坡 South	26	中 Middle
15	81~100	80	南坡 South	20	下 Below

样号 Code	密度/株·hm ⁻² Density		高度/m Height		胸径/cm BDH	
	马尾松 Masson pine	阔叶树 Broad-leaved tree	马尾松 Masson pine	阔叶树 Broad-leaved tree	马尾松 Masson pine	阔叶树 Broad-leaved tree
1	150	450	8.3	7.6	15.9	15.2
2	75	775	7.0	7.3	17.5	15.1
3	175	700	5.9	7.7	11.9	16.4
4	450	550	8.3	8.3	13.4	16.5
5	375	775	9.0	7.5	14.1	14.0
6	225	575	8.6	7.1	17.4	14.7
7	275	175	8.7	8.3	15.7	17.8
8	200	500	9.3	9.1	19.7	15.5
9	425	400	8.5	7.3	16.3	16.0
10	625	325	8.0	6.9	14.4	11.4
11	600	350	9.8	7.1	13.9	12.7
12	950	150	6.6	7.0	11.7	16.7
13	700	125	9.1	5.8	15.6	13.8
14	1 425	100	8.7	5.7	13.9	10.4
15	1 175	50	7.1	7.3	13.2	16.0

注: 表中混交比例一栏 81%~100%、61%~80%、41%~60%、21%~40%和<21%均表示马尾松占林分的比例。

Note: in this table, the proportions of masson pine and broad-leaved mixed woods of 81%-100%, 61%-80%, 41%-60%, 21%-40% and <21% all represent the ratio of masson pine.

1.4 内生土芯法测定细根生长量

在中龄林和幼龄林标准地内分别挖出 4 个和 6 个方形坑,规格为:底为 36 cm×26 cm,深为 30 cm;放入相同规格的网篮,用无根土混有少量沙子填平。并把挖出的土用土壤套筛筛检出所有根系流水中洗净带回实验室后,处理方法同挖掘法。此后每 3 个月重新取出网篮,筛检出所有根系洗净装入保鲜袋中,并把无根土回填至平整,把带回实验室根系置于烘箱中在 60℃下烘干至恒重,称重。

1.5 比根长和根密度测定

根长度和根长密度的测定细根长度的统计,采用 Newman 建立的简便方法:将细根随机地平摊在一个刻有一定长度的几条平行线的培养皿内(先用纸画好线条,然后反贴在培养皿外底面),统计根与平行线的总交叉点数,最后根据以下公式计算细根的总长度:

$$R = \pi NA / 2H$$

式中, R 为细根总长度, N 为细根与平行线的交点总数, A 为培养皿底部面积, H 为平行线长度总和。测定完长度后的细根在 80℃烘干至恒重,求出单位干重细根的长度,即比根长(specific root length, SRL)和单位体积细根的长度,即根长密度(root length density, RLD)。

2 结果与分析

2.1 马尾松混交林细根生物量分布

通过对样地根的调查,发现大山马尾松不同比例混交林在自然条件下生长状况很好。细根在土壤不同深度的分布同树种种类(深根、浅根树种)和土壤的结构及其养分的分布等有关。根据调查结果,细根在不同混交比例林分中的垂直分布特性均明显,细根生物量随土层深度增加逐渐降低,且大部分细根集中于土壤表层 0~10 cm 的范围内(表 2)。

表 2 马尾松混交林 0~30 cm 土层中细根储量分布状况

Table 2 Fine-root biomass distribution in 0-30 cm soil layer of masson pine mixed-woods

森林类型 Forest type	土层深度/cm Soil depth	现存生物量/t·hm ⁻² Fine-root actual biomass (Mean±SE)	
		$d < 2$ mm	总量 Total amount
马×阔>80% Masson pine× broad-leaved tree>80%	0~10	0.293±0.074 ^A	0.785 (47.6)
	10~20	0.164±0.077 ^B	0.447 (27.1)
	20~30	0.120±0.051 ^B	0.387 (25.3)
	合计 Total	0.577 (35.0)	1.649 (100)
61%≤马×阔≤80% 61%≤Masson pine× broad-leaved tree≤80%	0~10	0.277±0.107 ^A	0.825 (49.3)
	10~20	0.132±0.042 ^B	0.460 (27.5)
	20~30	0.128±0.020 ^B	0.390 (23.2)
	合计 Total	0.537 (32.1)	1.675 (100)
41%≤马×阔≤60% 41%≤Masson pine× broad-leaved tree≤60%	0~10	0.366±0.063 ^A	0.888 (49.4)
	10~20	0.202±0.054 ^B	0.579 (32.2)
	20~30	0.137±0.041 ^B	0.372 (18.4)
	合计 Total	0.705 (64.4)	1.799 (100)
21%≤马×阔≤40% 21%≤Masson pine× broad-leaved tree≤40%	0~10	0.297±0.087 ^A	0.666 (42.1)
	10~20	0.187±0.038 ^{AB}	0.486 (30.7)
	20~30	0.122±0.018 ^B	0.429 (27.2)
	合计 Total	0.606 (38.3)	1.581 (100)
马×阔<20% Masson pine× broad-leaved tree<20%	0~10	0.331±0.076 ^{aA}	0.861 (48.9)
	10~20	0.189±0.034 ^{bAB}	0.530 (30.0)
	20~30	0.138±0.066 ^{cB}	0.371 (21.1)
	合计 Total	0.658 (37.3)	1.762 (100)

注:表中数据为 1 年数据样本的平均值,括号内表示占该林分根系总生物量的百分比。大写字母(或小写字母)相同代表 1%(或 5%)水平上差异不显著,不相同代表差异极显著。表中 5 种混交比例是指马尾松所占林分胸高断面面积之比。下同。

Note: the data in this table are the average values of data samples of one-year, and the data in the parenthesis represent percentage of total root biomass in the stand. The data followed with the same capital letters (or lowercase letters) represents no significant difference at the 0.01 (or 0.05) level, while those with different letters represent significant difference at the 0.01 (or 0.05) level. The proportion of the mixed-stands refers to the ratio of masson pine. The same below.

根据调查结果, 细根的垂直分布特性明显, 细根生物量随土层深度增加逐渐降低, 且大部分细根集中于土壤表层 0~10 cm 的范围内(表 2)。利用 DPS 数据处理系统软件, 单因素统计分析 Duncan 新复极差法分析结果显示: 在 5% 水平上, 各林分 0~10 cm 土层与其他的土层细根生物量差异均显著, 10~20 cm 土层与 20~30 cm 细根生物量差异显著的混交比例有 41%~60% 和 0~20%, 其他混交比例均不显著; 在 1% 水平上, 混交比例为 81%~100%、61%~80% 和 41%~60% 的林分中 0~10 cm 土层与其他层细根生物量均显著, 而各处理林分 10~20 cm 与 20~30 cm 土层的细根生物量差异都不显著。

从表 2 中可以看出, 5 个不同混交比例的林分细根 ($d < 2$ mm) 生物量为 1.581~1.799 $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ (均值为 1.693 $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$) 占根系总生物量的 34.4%, 位于世界亚热带森林细根生物量范围的下游位置^[5] (1.1~5.8 $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$), 也居热带常绿阔叶林细根生物量范围的下游位置^[6] (0.6~22.7 $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$)。这可能与大山林区的土层浅、土壤养分瘠薄有关, 亦可能与传统粗放的营林措施和当地人砍伐灌木后造成对林地的扰动、水土肥流失等有关。

混交比例为 41%~60% 的林分 0~30 cm 表土层中, 细根生物量为 0.705 $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$, 根系总生物量为 1.799 $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$, 细根占总根系生物量比例最多 (64.4%)。在 0~30 cm 的土层中以 0~10 cm 土层细根生物量最多, 占细根总生物量的 49.4%。

混交比例 21%~40% 的林分根系总生物量最低, 只有 1.581 $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。在混交比例为 81%~100% 的林分中, 细根占根系总生物量的 35.0%, 是 5 种比例中最低的。

就细根生物量而言, 5 种混交比例林分以马尾松混交比例 41%~60% 最高, 其次为 0~20%, 第 3 位 21%~40%, 第 4 位为 81%~100%, 最小为 61%~80%。按细根生物量占根系总生物量来比较, 5 种混交林分大小依次为: 41%~60%、21%~40%、0~20%、81%~100% 和 61%~80%。

2.2 马尾松混交林细根生物量季节动态变化

从图 1 可以看出不同混交比例马尾松细根生物量(图中生物量是指 0~30 cm 土层混合样中细根生物量)呈一定的季节动态分布: 5 种混交比例林分的细根生物量季节变化均表现为单峰曲线。先逐渐增加并在 6、7 月份达到峰值, 此后逐渐减少, 1 月份减少至最低值, 到第 2 年 3 月份又开始增加。这种季节变化与林分自身生长模型和一年的气候变化

有关系, 可能因为地处北亚热带湿润气候的大山林区 6、7 月份为“梅雨季节”, 水热条件好, 土壤温度和湿度都适合植物的根系生长。6 月份和 1 月份以外的其他月份的细根生物量变化都不明显。利用 SPSS 数据处理系统软件分析结果显示: 41%~60%、61%~80%、21%~40% 和 81%~100% 的林分在 7 月和 1 月的细根生物量与其他几个月份间季节性差异均极显著 ($P < 0.01$), 3 月、5 月、9 月份间季节性差异均不显著 ($P < 0.05$)。而 0~20% 林分的月份间差异不显著 ($P < 0.05$)。

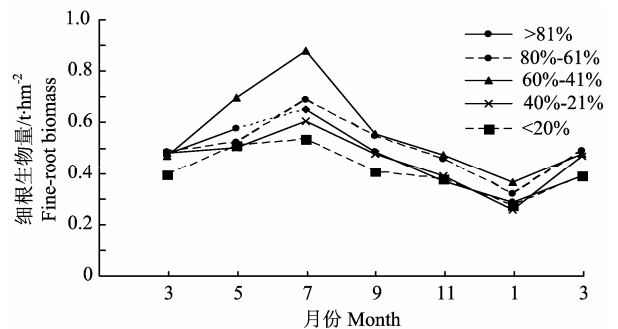


图 1 马尾松混交林 0~30 cm 土层内细根生物量季节动态
Figure 1 Seasonal dynamic change of fine-root biomass in 0-30 cm soil layer in masson pine mixed-woods

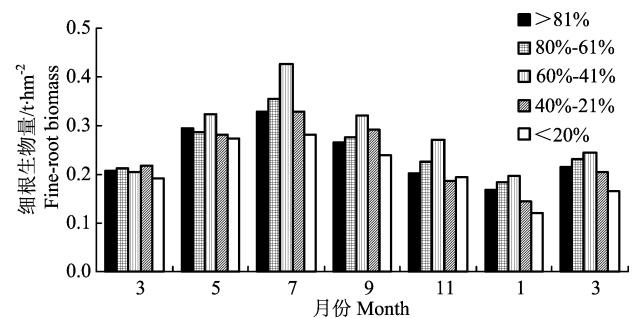


图 2 0~10 cm 土层内马尾松混交林细根生物量动态
Figure 2 Seasonal dynamic change of fine-root biomass in 0-10 cm soil layer in masson pine mixed-woods

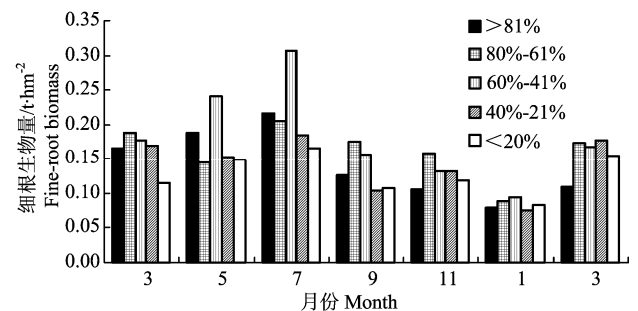


图 3 10~20 cm 土层内马尾松混交林细根生物量动态
Figure 3 Seasonal dynamic change of fine-root biomass in 10-20 cm soil layer in masson pine mixed-woods

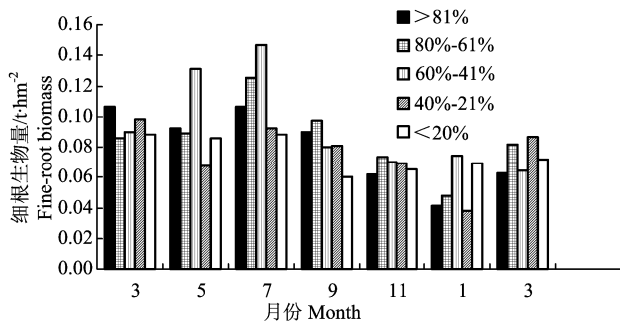


图 4 20~30 cm 土层内马尾松混交林细根生物量动态
Figure 4 Seasonal dynamic change of fine-root biomass in 20-30 cm soil layer in masson pine mixed-woods

2.3 马尾松混交林细根生物量季节动态变化比较

从各个土层细根储量的垂直分布来看(图 2、图 3 和图 4),根系在上层土壤中呈现出密集生长的变化规律,这有利气体交换和吸收水分养分,以维持地上部巨大生物量。根系的这种垂直分布规律在土层较为浅薄的大山林区,更有积极的意义。随着土层的加深,土壤容重会逐渐增加,细根在土壤中获得氧气会逐渐减少,温度和养分的降低,使细根生长和吸收养分物质受到抑制和影响,所以随着土层的加厚,其生物量会逐渐减少。在大山地区,由于降雨较为充沛,所以细根的生长不会受到水分的限制。随着土层的加深,根系生物量显著减少。这与亚热带鼎湖山生物圈保护区和云南阔叶林根系垂直分布的研究结果相似^[7-9]。

从细根储量季节动态变化来看(图 2、图 3 和图 4),0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm 土层细根储量随季节的动态变化与 0~30 cm 土层的细根生物量变化规律一致。先是从 3 月份开始逐渐增加到 7 月份达到最大值,随后呈下降趋势,在 1 月份降至最低点,在第 2 年的 3 月份又开始呈增加趋势。

从不同混交比例林分细根储量季节动态变化来看,0~10 cm 土层,2008 年 3 月、5 月、9 月、1 月和 2009 年 3 月份的细根储量在 5 种混交比例之间在统计上没有显著差异($P<0.05$),而在 7 月和 11 月,41%~60%林分和其他 4 种混交比例林分之间差异显著($P<0.01$)。10~20 cm 土层,5 月、7 月份,41%~60%林分和其他 4 种混交比例林分之间的差异显著($P<0.01$),3 月和 1 月份,5 种混交比例之间差异均不明显。20~30 cm 土层,5 月、7 月份,41~60%林分和其他林分的差异显著。

2.4 细根生长量

细根生长量的结果见图 5。从图 5 可以看出,大山马尾松混交林 0~30 cm 土层内细根年生长量在

0.614~0.988 $t\cdot hm^{-2}\cdot a^{-1}$,其中 41%~60%林分为 0.988 $t\cdot hm^{-2}\cdot a^{-1}$;61%~80%林分为 0.899 $t\cdot hm^{-2}\cdot a^{-1}$;21%~40%林分为 0.775 $t\cdot hm^{-2}\cdot a^{-1}$;81%~100%林分为 0.745 $t\cdot hm^{-2}\cdot a^{-1}$;0~20%林分为 0.614 $t\cdot hm^{-2}\cdot a^{-1}$ 。细根的年生长量与 7 次调查的平均细根生物量相比,细根年生长量小于平均细根生物量,这可能与细根的死亡周转和土壤的养分有很大关系。

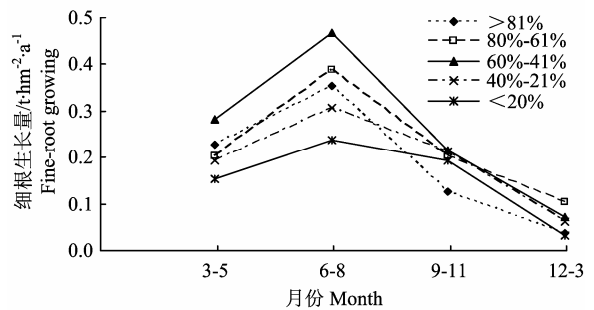


图 5 马尾松混交林细根生长量季节动态变化
Figure 5 Seasonal dynamic change of fine-root biomass growth in masson pine mixed-woods

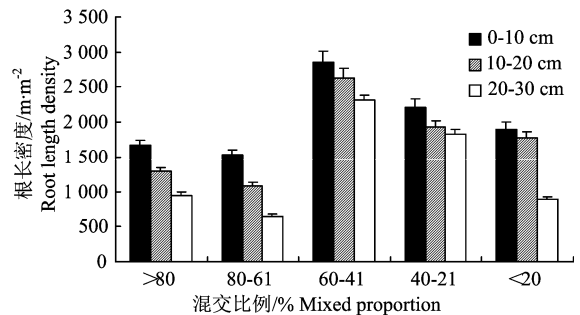


图 6 马尾松混交林细根根长密度变化
Figure 6 Change of fine root RLD in masson pine mixed- woods

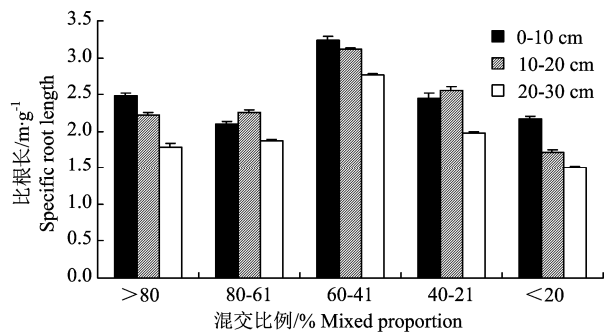


图 7 马尾松混交林细根比根长变化
Figure 7 Change of fine root SRL in masson pine mixed-woods

5 种混交林分的细根年生长量随季节变化明显,与细根生物量季节动态变化也基本一致。3~5 月份生长量逐渐增长,到 6~8 月份达到最大值,而

随后又逐渐减少,最小值出现在当年的 12 月到次年 3 月。一年中,大山马尾松混交林细根月平均生长量范围在 $0.032\sim 0.469\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 之间。6~7 月份 41~60% 林分的月平均细根生长量达到 $0.469\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$; 12 月到第 2 年 3 月份的月平均生长量为 $0.072\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。最大月均细根生长量大约是最小月均生长量的 14.6 倍。

2.5 细根根长密度和比根长

2.5.1 不同比例混交林细根根长密度垂直分布 细根根长密度(RLD)是指单位体积土壤中细根的长度。根长密度是估算根系在土壤中的分布及其吸收水分、养分的重要依据。由图 6 可知,41%~60%混交林各土层的细根根长密度都大于其他 4 种比例的混交林分,这与细根生物量的分布情况一样。0~20%、61%~80%、和 81%~100%混交林分的表层土壤和深层土壤中的细根密度变化大,而 41%~60%和 21%~40%混交林分的这种变化小。说明了 41%~60%和 21%~40%混交林分树木根系分布比较合理,有利于充分利用各土层的养分、水分资源,使马尾松和其他阔叶树种得以协调生长。

2.5.2 不同比例混交林细根比根长垂直分布 细根比根长(SRL)是指单位重量的根长。一些研究表明,比根长越大的根直径越小,直径越细的根,根系 N 含量越高,呼吸速率越大,根系活力也越高。因此,比根长的大小可以指示根系生理活性的大小^[11]。由图 7 表明,41%~60%混交林比根长较其他 4 种比例混交林要高,说明其根系的活力高于其他林分根系。5 种比例混交林在表层和深层细根比根长的变化不大,说明 5 种比例混交林细根直径在垂直方向上变化不明显。这可能是由于比根长取决于细根的生物量和根长密度,而二者的变化又趋于一致。

3 小结与讨论

采用钻土芯法和内生长法相互补充结合的研究方法,研究了安徽枞阳县大山村典型植被类型马尾松针阔混交林的生物量分布状况;比较和分析了不同混交比例林分 and 不同土层的细根生物量、比根长、根密度、细根生长量以及季节动态变化,得出以下结论。

3.1 细根生物量及季节动态

在所调查的马尾松混交林中,5 种混交比例林分细根生物量的均值为 $1.693\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,Vogt 等综述了世界上有关亚热带森林细根报道后指出其生物量介于 $1.1\sim 5.8\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ ^[12],本研究的结果没有超出其范围。与国内同处在亚热带的其他森林类型相比,高

于湖南会同的杉木纯林 ($0.88\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$),低于鼎湖山南亚热带针阔混交林 ($5.35\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$),和湖南杉木火力楠混交林生物量接近 ($1.56\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$)。研究结果表明马尾松不同的混交比例对细根生物量有较大影响,不同混交比例林分的细根生物量的大小依次为:马尾松混交比例 $41\%\sim 60\% > 0\sim 20\% > 21\%\sim 40\% > 81\%\sim 100\% > 61\%\sim 80\%$ 。细根生物量占根系总生物量比较:马尾松混交比例 $41\%\sim 60\% > 21\%\sim 40\% > 0\sim 20\% > 81\%\sim 100\% > 61\%\sim 80\%$ 。说明 41%~60%比例马尾松混交林物种丰富改善了林分土壤条件,从而增加了细根的生物量。

5 种混交林分的细根生物量垂直分布规律明显,有随土层增加而减少的分布规律,且大部分细根集中于土壤表层 0~10 cm 的范围内。这一调查结果与很多前人的研究结果类似,如李凌浩^[10]等研究表明,树木或者林分 50%左右细根位于 30 cm 土层内,且多集中于枯落物层和 10 cm 以上的矿质土壤表层;张艳杰^[13]等研究表明,马尾松林分的根系主要分布在 0~30 cm 的表层土壤中,随着土层深度的增加,根系生物量逐渐减少。这一垂直分布规律可能与大山地区的土层较浅以及树种根系生长状况^[14](深根、浅根树种)有着密切的关系。

5 种马尾松混交林细根生物量季节动态均呈单峰变化。均在 6、7 月份达到峰值,在 1 月份达到最低值,41~60%林分生物量在一年中比其他 4 种混交林分要高。

3.2 细根生长量

5 种混交比例林分 30 cm 土层内细根年生长量为在 $0.614\sim 0.988\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 之间,各个混交林分细根年生长量大小依次为,41%~60% ($0.988\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$) > 61%~80% ($0.899\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$) > 21%~40% ($0.775\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$) > 81%~100% ($0.745\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$) > 0~20% ($0.614\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)。这一结果低于同处亚热带的肖坑常绿阔叶林 ($1.394\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)、鼎湖山常绿阔叶林 ($3.740\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)^[9]和武夷山甜槠林 ($7.3715\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)^[10]。这可能与细根的死亡周转有密切关系,由于本实验每次所采用的细根生物量为 3 个月细根的生长,而细根的生长死亡周期较短,一年内细根大量生长的同时,其死亡归还量也较高,导致细根生长量偏小。

3.3 细根根长密度和比根长

根长密度和比根长是估算根系在土壤中的分布、生理活力及其吸收水分、养分的重要依据。本研究中,41%~60%混交林各土层的细根比根长和根长密度都大于其他 4 种比例的混交林份,并且

41%~60%混交林分的根密度在不同土层间的变化较小。这说明41%~60%混交林中树木根系分布比较合理,林内群落结构复杂,枯落物丰富,导致土壤微生物群体更加多样化,因而能更好的改造土壤,提高土壤肥力^[15],有利于各个土层的养分和水分资源被充分利用,在该种比例下马尾松和其他混交树种能够协调生长。

参考文献:

- [1] Berg B, McLaugherty C. Plant litter: decomposition, humus formation, carbon sequestration[M]. Berlin: Springer, 2003.
- [2] Usmans, Singh S P, Rawat Y S. Fine root production and turnover in two evergreen central Himalayan forests[J]. *Annals of Botany*, 1999, 84: 87-94.
- [3] Vogt K A, Grier C C, Vogt D J. Production, turnover and nutrient dynamics of above and belowground detritus of world forest [J]. *Adv Ecol Res*, 1986, 15: 303-337.
- [4] 王家明, 刘桂华, 周敏. 栗茶混交林林地水分涵养潜力的研究[J]. *安徽农业大学学报*, 2009, 36(1): 96-99.
- [5] 温志达, 魏平, 孔国辉, 等. 鼎湖山亚热带森林细根生产力与周转[J]. *植物生态学报*, 1999, 23(4): 361-369.
- [6] 杨玉盛. 杉木林可持续经营的研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 1998.
- [7] 杨丽焜, 李文华. 长白山原始阔叶红松林细根分布及其周转的研究[J]. *北京林业大学学报*, 2005, 27(2): 1-5.
- [8] 邱学忠, 谢寿昌, 粥桂莽. 云南哀牢山徐家坝地区石栎林生物量的初步研究[J]. *云南植物研究*, 1984(1): 85-92.
- [9] 廖兰玉, 丁明懋, 张祝平. 鼎湖山某些植物群落根系生物量及其氮素动态[J]. *植物生态学与地植物学报*, 1993, 17(1): 56-60.
- [10] 李凌浩, 林鹏. 武夷山甜槠林细根生物量和生长量研究[J]. *应用生态学报*, 1998, 9(4): 337-344.
- [11] 程云环, 韩有志, 王庆成, 等. 落叶松人工林细根动态与土壤资源有效性关系研究[J]. *植物生态学报*, 2005, 29(3): 403-410.
- [12] Vogt K A, Vogt D J, PMmiotto P A, et al. Review of root dynamics in forest ecosystems grouped by climatic forest type and speies [J]. *Plant and Soil*, 1996, 187(2): 159-219.
- [13] 张艳杰, 温佐吾. 不同造林密度马尾松人工林的根系生物量[J]. *林业科学*, 2011, 47(3): 75-80.
- [14] 蔡洁, 文仕知, 何功秀, 等. 湘北四川桉木人工林空间分布特征[J]. *浙江林业科技*, 2010, 30(5): 42-45.
- [15] 胥清利. 枫香与杉木、马尾松混交林土壤有机质和腐殖质碳的研究[J]. *福建林业科技*, 2007, 34(4): 42-45.