

鼎湖山马尾松林细根生物量及其与土壤有机质关系的初步研究^①

莫江明¹孔国辉¹ Sandra Brown²张佑昌¹ Melanie Lenart²

(¹ 中国科学院华南植物研究所, 广州 510650)

(² 美国伊利诺斯大学)

摘要 本研究通过保护(禁止任何人为活动)和处理(根据当地习惯进行收割林下层和凋落物)样地的比较研究,在五年时间里对鼎湖山生物圈保护区马尾松林的细根及其与土壤有机质的关系进行了初步研究。结果表明,马尾松林的细根生物量在 $6.40\sim 12.11\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 之间,其平均值高于附近的阔叶林($5.66\pm 0.44\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$),但低于针、阔叶混交林($10.62\pm 1.25\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$),并且具有季节性变化特点。收割凋落物和林下层这种人为活动对马尾松林细根生物量产生明显的不良影响。土壤有机质的最活跃部分—轻腐殖质在 $5.72\sim 13.64\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 之间。土壤细根生物量与土壤轻腐殖质间具有显著的直线相关关系,这种相关关系在处理样地更加显著,因此,认为细根是本研究样地马尾松林土壤有机质的主要来源。细根营养元素浓度为: N $0.6928\%\sim 0.9068\%$; P $0.039\%\sim 0.056\%$; K $0.3715\%\sim 0.536\%$; Ca $0.0547\%\sim 0.116\%$; Mg $0.0183\%\sim 0.0887\%$,总的来说,细根的营养元素浓度在 6 月份最高,10 月份最低。各营养元素浓度的大小变化顺序为: $\text{N}>\text{K}>\text{Ca}>\text{P}>\text{Mg}$ 。

关键词 马尾松,细根生物量,轻腐殖质,鼎湖山。

1 前言

以往人们普遍认为在森林生态系统里,细根占根的总生物量很少,加上细根研究通常花费较多的时间和人力,因而,细根在森林生态系统中的作用向来被生态学家所忽视或认为是次要的成分。然而,近期的研究结果表明,细根是森林植物根系的重要组成且又是最活跃的部分,是植物从土壤里吸收水分和营养的重要器官。细根对生态系统中的许多生态过程,诸如营养循环和水循环等有着重要的影响。因此,在有关森林生态系统的结构、功能和生产力的研究方面,细根研究越来越获得人们的重视。如国外的研究表明,在热带森林生态系统里,细根对土壤有机质的贡献是凋落物叶子和细枝条的 2 到 5 倍^[1]。近年在我国有些学者对细根也进行了一些研究,例如,单建平等在长白山的研究中发现,阔叶红松林细根总生物量为 $6.9\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,细根年凋落物量(年死亡量)相当于枯枝落叶年凋落量的 60%,因此,认为以往仅考虑枯枝落叶的森林凋落物量预算是不完整的^[2]。廖兰玉等在鼎湖山亚热带季风常绿阔叶林根系研究中观察到,细根占了她们研究样地根总生物量的 34% 和根总氮贮量的 43%^[3]。

然而,对于我国南方主要造林树种之一的马尾松 (*Pinus massoniana*) 林的细根研究却未见报道。马尾松是我国南方荒山和光板上植被恢复和人工造林的先锋树种。据调查,在我国马尾松林的造林面积仅次于杉木林,占全国总造林面积的 20%^[4]。由于马尾松林适应性强,耐干旱、贫瘠,能生长在营养低和淋溶率高的南方土壤,其细根在松林生态系统中的作用显得更为重要。本文的目的就是对鼎湖山马尾松林细根生物量及其与土壤有机质的关系进行初步研究,为进一步深入研究马尾松林细根提供基础。

① 本研究获 USA MAB 和中国科学院资源环境局资助。

2 材料和方法

2.1 样地概况

本研究在鼎湖山自然保护区进行。保护区位于广东省中部,东经 $112^{\circ}33'$, 北纬 $23^{\circ}10'$, 具有季风性气候。年平均降雨量为 1927 mm, 其中 75% 分布在 3 月到 8 月份, 而 12 月到 2 月仅占 6%。年平均相对湿度为 80%。年平均温度为 21.4°C , 最冷月 (1 月) 和最热月 (7 月) 的平均温度分别为 12.6°C 和 28.0°C ^[5]。

保护区总面积为 1155 hm^2 , 其中约 10% 为人工种植起源的马尾松林所覆盖。这些松林由于分布在保护区的缓冲带, 常受附近居民收割凋落物和林下层的人为活动影响。据调查这种收割活动每年发生 2~3 次, 每年从林地收走约 $3.3\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 干物质^[6]。本研究就是在其中的马尾松林里进行。样地的植物以马尾松为主, 还有少量的桉树。林龄约为 50 年。乔木层个体的平均高度为 $6.79\pm 0.20\text{ m}$, 平均胸径为 $13.75\pm 0.63\text{ cm}$ 以及平均年龄为 30.39 ± 1.34 年。海拔高度在 50~200 m 之间。林冠稀疏但下层的灌木、草本、蕨类植物较稠密。下层植物种类较丰富, 共 43 种, 但主要以桃金娘 (*rhodomyrtus tomentosa*)、芒萁 (*dicranopteris linearis*) 等为主。

研究样地的母岩为沙岩。土壤为砖红壤性红壤, pH 在 4.5~5.0 之间。土层较浅, 一般不超过 30 cm^[7]。

研究样地采用对比样地 (paired-plot design) 设计, 总共有 20 对。每对含有处理 (根据当地居民习惯进行凋落物和林下层收割) 和保护 (无人干扰) 样地各一个。每个样地的面积为 $10\times 10\text{ m}^2$, 周围并有 10 m 宽的缓冲带。样地的坡度在 $26.5^{\circ}\sim 34.5^{\circ}$ 之间, 其平均值为 30° 。样地的海拔高度在 50~250 m 之间。

2.2 样品采集

细根 ($2\text{ mm} < \text{直径} < 5\text{ mm}$, 0~10 cm 土层深): 在 1990 年 9 月 11 日在每样方内随机选择 7 个取样点, 每点取 1 钻, 取样深度为 0~10 cm 的样品, 然后按样方混合 (共 20 个样品), 带回实验室以便作细根和土壤轻腐殖质分析^[8]。

我们仅对土壤有机质中最活跃部分——土壤轻腐殖质进行分析研究。土壤轻腐殖质在操作上则是在水中浮洗时通过 2 mm 孔径后, 滞留在 0.25 mm 孔径筛里的土壤有机质。

在 1991 年 5 月 14 日, 1991 年 9 月 25 日, 1992 年 5 月 14 日, 1993 年 5 月 14 日和 1995 年 6 月 4 日分别重复以上采样和分析。在 1993 年 5 月 14 日还分别在针、阔叶混交林和阔叶林用同样方法各取 10 个样品。

为了分析细根营养元素浓度的季节性变化, 在 1991 年 4 月 21 日, 1991 年 6 月 21 日, 1991 年 8 月 21 日, 1991 年 10 月 21 日, 1991 年 12 月 21 日和 1992 年 2 月 21 日分别用以上同样的方法取细根样品。

用来作土壤 (0~10 cm) 营养含量和容重分析的土壤样品的取样, 在试验开始时, 即 1990 年 5 月进行。营养分析用的样品, 在每个样方中选择五个取样点, 其中一点在样方中间, 其余的则在四个样方角。在选择好的取样点取由 3 钻土壤组成的样品 (共为 3×20 个样品)。用于土壤容重分析的样品用以上同样的方法钻取 (共为 3×20 个样品)。

2.3 实验室分析

细根处理, 在处理腐殖质时, 细根亦分开。土壤轻腐殖质的提取, 将未经处理的土壤样品置在一个 500 ml 的烧杯中, 加水摇拌数次, 然后过孔径为 2 mm 和 0.25 mm 的筛。滞留在孔径为 0.25 mm 网筛的物质即为轻腐殖质。

表 1 处理和保护样地土壤的化学性质

Table 1 Soil chemical properties in the treatment and control plots

样地号	N (%)	P (g/kg)	可交换性 P (g/kg)	可交换性 K (g/kg)	可交换性 Ca (g/kg)	可交换性 Mg (g/kg)	
处理(T.)	1	0.087	162.676	0.958	0.072	0.123	0.078
	2	0.138	141.007	2.240	0.068	0.172	0.078
	3	0.100	206.548	1.630	0.080	0.093	0.053
	4	0.133	200.298	1.222	0.076	0.127	0.053
	5	0.160	196.437	0.645	0.082	0.151	0.123
	6	0.128	181.381	1.115	0.068	0.096	0.074
	7	0.125	167.913	1.246	0.068	0.127	0.080
	8	0.116	189.849	1.601	0.066	0.084	0.049
	9	0.136	237.761	1.683	0.078	0.076	0.053
	10	0.202	222.797	1.616	0.070	0.140	0.057
	11	0.223	191.980	1.679	0.076	0.113	0.080
	12	0.103	192.565	1.371	0.053	0.113	0.053
	13	0.110	193.552	1.254	0.050	0.138	0.055
	14	0.096	215.301	1.266	0.068	0.084	0.055
	15	0.096	202.789	1.219	0.066	0.074	0.045
	16	0.117	197.435	0.885	0.057	0.060	0.043
	17	0.183	235.057	1.441	0.055	0.096	0.053
	18	0.115	237.414	1.278	0.066	0.074	0.049
	19	0.158	227.718	1.558	0.074	0.076	0.051
	20	0.156	179.562	1.094	0.059	0.074	0.041
平均	0.134	199.002	1.350	0.068	0.105	0.061	
S. E. *	0.008	5.749	0.078	0.002	0.007	0.004	
C. V. **	27.364	12.919	25.933	13.373	29.532	31.587	
保护(C.)	1	0.111	177.468	1.788	0.074	0.123	0.051
	2	0.144	199.373	2.510	0.090	0.168	0.144
	3	0.134	183.187	1.391	0.089	0.128	0.054
	4	0.123	205.072	1.047	0.123	0.142	0.053
	5	0.128	202.354	1.622	0.078	0.082	0.053
	6	0.198	193.684	1.499	0.068	0.088	0.043
	7	0.164	179.516	1.423	0.060	0.131	0.082
	8	0.162	206.248	1.677	0.072	0.125	0.055
	9	0.132	211.499	1.495	0.072	0.109	0.051
	10	0.174	195.361	1.634	0.070	0.092	0.107
	11	0.134	203.175	1.205	0.068	0.150	0.109
	12	0.136	186.318	1.188	0.080	0.107	0.045
	13	0.204	207.334	0.971	0.062	0.072	0.043
	14	0.269	199.901	1.227	0.087	0.090	0.058
	15	0.169	222.998	1.098	0.078	0.078	0.045
	16	0.147	206.332	1.339	0.064	0.068	0.049
	17	0.132	243.616	1.037	0.067	0.090	0.053
	18	0.150	215.850	1.098	0.068	0.068	0.053
	19	0.226	218.293	0.996	0.062	0.049	0.047
	20	0.119	202.493	1.012	0.067	0.084	0.045
平均	0.158	203.004	1.363	0.075	0.102	0.062	
S. E. *	0.009	3.482	0.083	0.003	0.007	0.006	
C. V. **	25.312	7.672	27.187	19.152	30.717	43.838	

* S. E. :平均标准差; ** C. V. :变异系数。

所有的材料(细根和土壤)在收集后,立即在 40 ℃ 恒温箱烘至恒重。土壤样品磨碎、过 2 mm 孔径的网筛和装瓶,植物样品则磨碎、过 0.15 mm 孔径的网筛和装瓶,以供化学分析。然后,每个样品在分析前分开两部分,其中一部分在 105 ℃ 烘至恒重,用来计算重量换算率(40/105 ℃);另一部分作营养分析。所有样品的氮浓度分析在美国伊莉诺大学完成,其它元素分析则在美国国际热带林业研究所完成。氮的分析用开氏法消煮后,用维氏卡分析仪定氮^[9]。样品磷的浓度用比色法,其它营养元素浓度则用离子吸收光谱法分析^[10]。

同时,在每样品中取部分在 550 ℃ 燃烧 5.5 小时测定其灰分含量。本研究的全部结果以 105 ℃ 恒重为基准。

3 结果与讨论

营养元素浓度在处理样地和保护样地土壤中的分布均十分相似,无明显的差异(表 1)。除了 K 元素外,所有元素在样地中的分布较均匀,变异系数在 8%~30%之间。说明了所有样地在试验前所受的人为干扰程度较一致,这是进行比较研究的重要条件。K 元素的变异系数较高,在 32%~44%之间,这种现象可能与 K 元素具有流动性较强的特性有关^[6]。另外,用 1990 年细根生物量结果与土壤营养元素浓度作相关分析,结果表明在试验初期细根生物量与营养元素浓度间无明显的相关关系。这与 Gower 等研究者们的一些热带森林的研究结果不相符,他们发现土壤营养元素尤其是氮元素含量与森林细根生物量有着显著的相关关系,因而,认为营养元素含量是土壤细根生物量的重要限制因子^[11,12]。不相符的原因可能与以上提到的本研究样地土壤营养元素浓度分布较均匀的结果有关。

在保护样地的马尾松林细根生物量变化在 7.19~12.11 t·hm⁻²之间(图 1),6 次调查的平均值为 9.39 t·hm⁻²。在处理样地则为 6.40~11.24 t·hm⁻²之间,6 次调查的平均值为 8.03 t·hm⁻²。两样地的细根生物量均高于单建平等(1993)在长白山阔叶红松林细根研究的结果(6.6 t·hm⁻², 土层深度为 0~50 cm),高于 Gower(1987)在 Costa Rican 热带林研究的

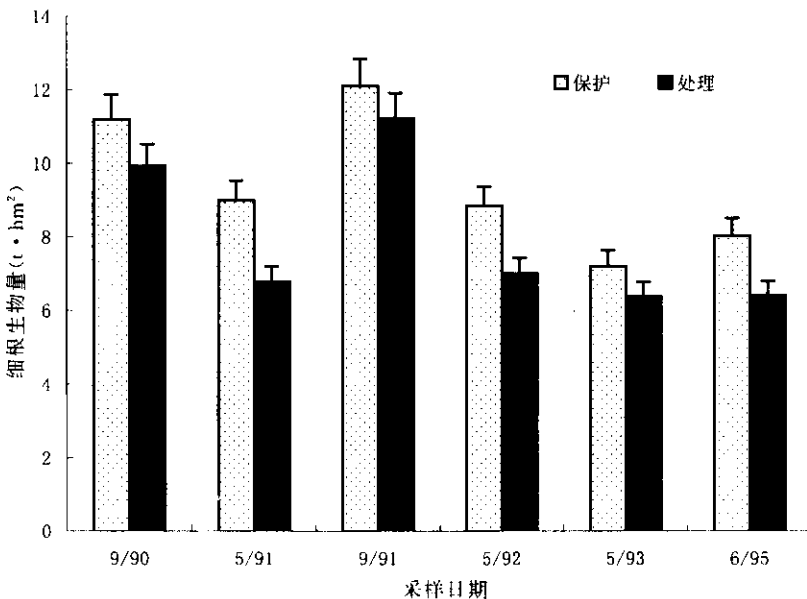


图 1 保护和处理样地的细根生物量比较

Fig. 1 The comparison of fine root biomass between control and treatment plots

结果(3.69~6.62 t·hm⁻², 土层深度为0~10 cm), 但小于廖兰玉(1993)在鼎湖山某些群落研究的结果(11.62 t·hm⁻², 土层深度为0~20 cm)。另外, 两样地9月份间和5月份间的细根生物量均相对较稳定, 但9月份高于5月份, 反映了细根生物量的季节性变化特点。除开始试验的第一年外, 保护样地细根生物量显著高于处理样地($p < 0.05$), 同时6次调查的平均值在保护样地也显著高于处理样地($p < 0.05$), 表明了保护样地在停止收割凋落物和林下层人为影响后, 细根很快作出反应, 生物量迅速提高。

细根对土壤有机质存在一定程度的影响, 尤其在处理样地这种影响更加明显(图2、3)。在保护样地, 细根生物量与土壤有机质的最活跃部分——轻腐殖质量之间, 在6次调查中3次存

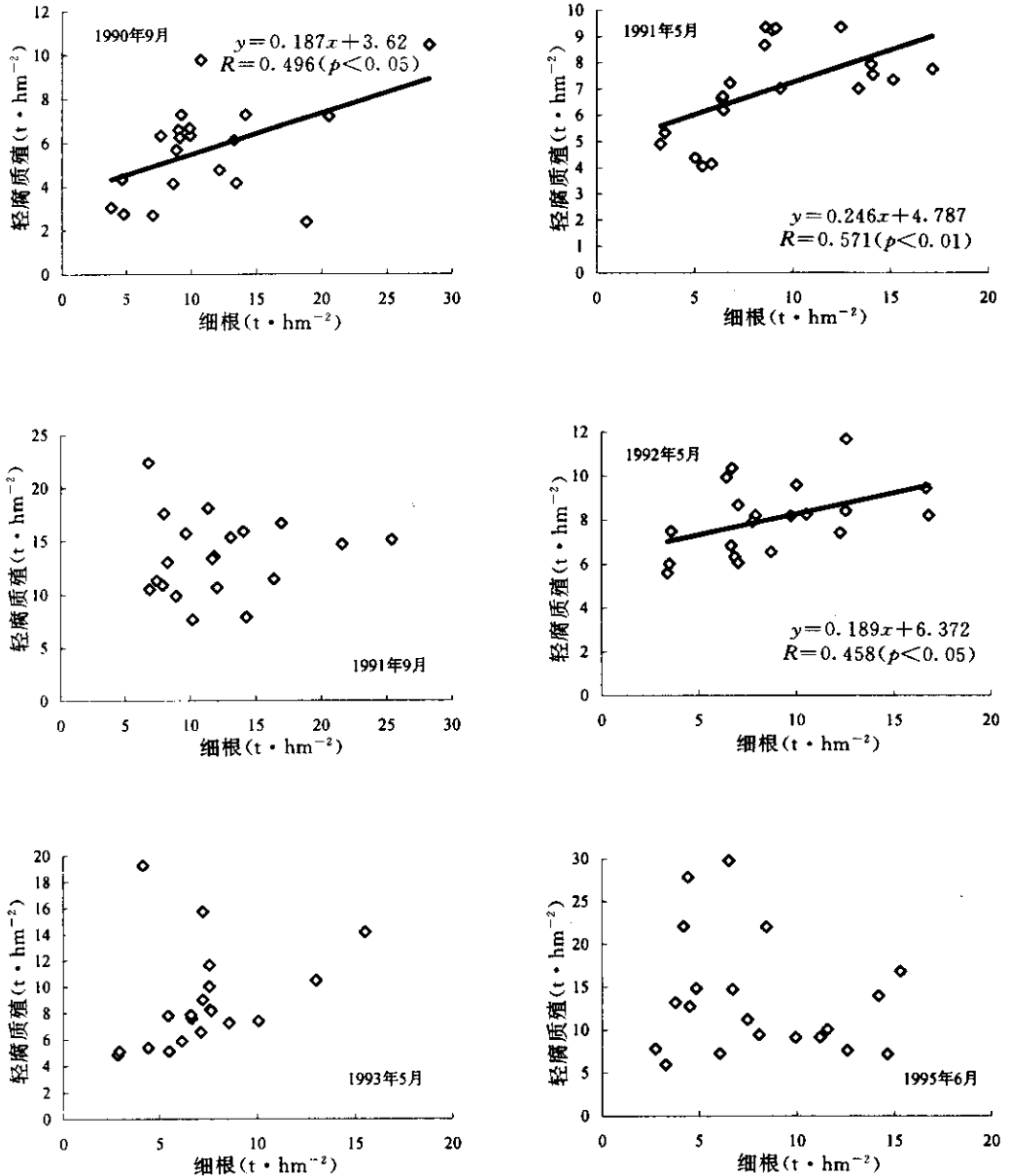


图2 保护样地细根生物量与土壤轻腐殖质的关系

Fig. 2 Relationship between fine root biomass and soil light organic matter in the control plots

在显著的直线相关关系,它们分别是1990年9月($p < 0.05$)、1991年5月($p < 0.01$)和1992年5月($p < 0.01$)。在处理样地,除了1992年9月和1995年5月两次结果均表明它们之间存在极显著的直线相关关系外($p < 0.01$),1991年5月和1990年9月的结果也表现出较强的直线相关关系($p < 0.05$, $p < 0.09$)。这个结果表明了细根是土壤有机质的重要来源。在处理样地细根对土壤有机质影响的程度高于在保护样地,反映了由于人为收割凋落物和林下层活动的影响,妨碍了凋落物回归到土壤,因而细根对土壤有机质的贡献比例在处理样地高于在保护样地。

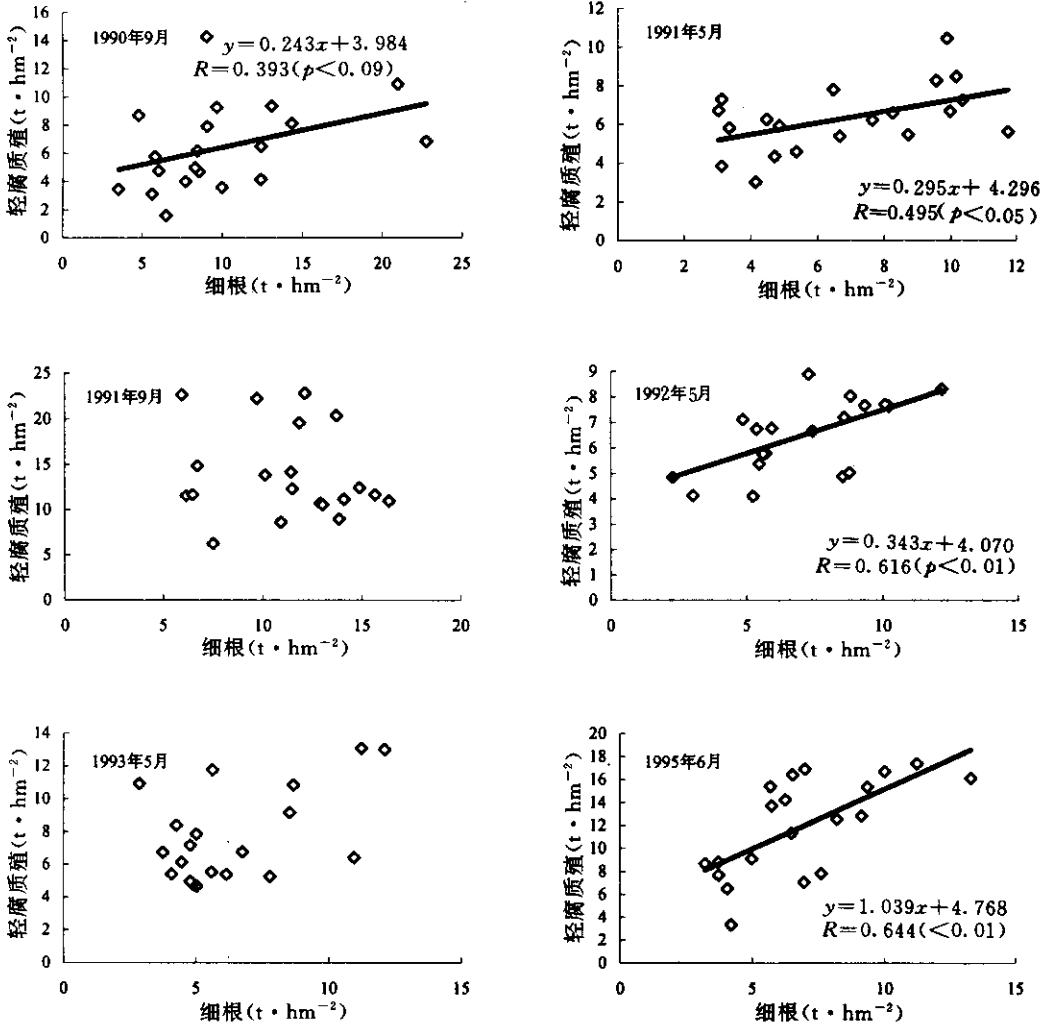


图3 处理样地细根生物量与土壤轻腐殖质的关系

Fig. 2 Relationship between fine root biomass and soil light organic matter in the treatment plots

在保护样地,土壤轻腐殖质量变化在 $5.72 \sim 13.64 t \cdot hm^{-2}$ 之间,在处理样地则变化在 $6.40 \sim 11.24 t \cdot hm^{-2}$ 之间。两样地6次调查的平均值比较,保护样地与细根一样($9.47 t \cdot hm^{-2}$)显著高于处理样地($8.77 t \cdot hm^{-2}$)。9月份间和5月份间轻腐质量也与细根一样相对稳定,9月份也高于5月份,反映了细根季节性变化对土壤轻腐质量的影响。以上现象再次证

明了细根生物量与土壤有机质的密切关系。

与同一地区的阔叶林和针、阔叶混交林的细根生物量比较,马尾松林的细根生物量高于阔叶林但低于针、阔叶混交林(图 4)。针阔叶混交林的细根生物量与土壤轻腐殖质量同样存在显著的直线相关关系($p < 0.05$),但在阔叶林中细根对土壤有机质的影响不明显,反映了在针、阔叶林里细根也是土壤有机质的重要来源,同时细根对有机质的影响在针、阔叶混交林较阔叶林大。

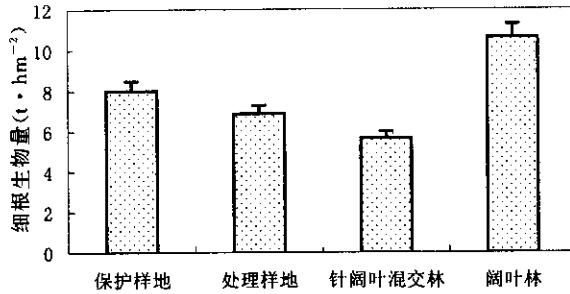


图 4 各样地细根生物量比较

Fig. 4 Fine root biomass in different forest types

细根营养元素浓度根据元素和季节不同而变化(表 2)。N 浓度在 0.6928%~0.9068%之间;P:0.039%~0.056%;K:0.3715%~0.536%;Ca:0.0547%~0.116%;Mg:0.0183%~0.0887%。总的来说,细根的营养元素浓度在 6 月份最高,10 月份最低;各营养元素浓度的大小变化顺序为:N>K>Ca>P>Mg。保护样地和处理样地之间比较,除了 P 和 Mg 两元素浓度无明显差异外,其余元素浓度均表现出保护样地大于处理样地($p < 0.05$)的结果,表明了保护样地在停止人为活动后,样地土壤营养条件得到改善。

表 2 保护和处理样地细根营养元素浓度表

Table 2 The nutrient concentrations of fine root in the control and treatment plots

采样日期	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
保护(C.)					
1991-6-21	0.9068	0.0540	0.5360	0.0777	0.0887
1991-8-21	0.7983	0.0490	0.5139	0.0567	0.0540
1991-10-21	0.7447	0.0390	0.4585	0.0783	0.0183
1991-12-21	0.8327	0.0490	0.4862	0.1160	0.0519
1991-2-21	0.7653	0.0450	0.5024	0.0806	0.0185
平均	0.8096	0.0472	0.4994	0.0819	0.0463
S.E.*	0.0285	0.0025	0.0130	0.0096	0.0131
处理(T.)					
1991-6-21	0.7645	0.0460	0.4818	0.0790	0.0522
1991-8-21	0.7730	0.0450	0.3890	0.0547	0.0469
1991-10-21	0.6928	0.0480	0.4460	0.0792	0.0487
1991-12-21	0.7269	0.0460	0.3952	0.0857	0.0384
1991-2-21	0.8220	0.0560	0.3715	0.0771	0.0439
平均	0.7558	0.0482	0.4162	0.0751	0.0460
S.E.*	0.0219	0.0020	0.0206	0.0053	0.0023

*S.E.: 平均标准差。

4 小结

4.1 本研究样地马尾林的细根生物量在 $6.40 \sim 12.11 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 之间, 低于同地区的针、阔叶混交林但高于阔叶林, 并且具有季节性变化特点。收割凋落物和林下层这种人为活动对马尾松林细根生物量有着明显的不良影响。

4.2 在本研究样地的马尾松林土壤轻腐殖质量在 $5.72 \sim 13.64 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 之间。土壤细根生物量与土壤轻腐殖质间具有明显的直线相关关系, 这种相关关系在一定程度上受收割凋落物和林下层这种人为活动影响, 因此, 细根是马尾松林土壤有机质的重要来源。细根对土壤有机质的贡献可能是马尾松林适应性强以及能够生长在人为活动较频繁地方的重要原因之一。

4.3 细根营养元素浓度为: N $0.6928\% \sim 0.9068\%$; P $0.039\% \sim 0.056\%$; K $0.3715\% \sim 0.536\%$; Ca $0.0547\% \sim 0.116\%$; Mg $0.0183\% \sim 0.0887\%$, 总的来说, 细根的营养元素浓度在 6 月份最高, 10 月份最低。各营养元素浓度的大小变化顺序为: $\text{N} > \text{K} > \text{Ca} > \text{P} > \text{Mg}$ 。

4.4 由于本研究样地土壤营养元素浓度差异不大, 因此在研究初期细根生物量与土壤营养元素浓度间无明显相关关系。然而, 随着时间的推移, 细根营养元素浓度显现出在保护样地高于在处理样地的趋势, 因此, 细根生物量与土壤营养元素浓度间的关系值得进一步研究。

参 考 文 献

- 1 Berish, C. W. Root development in simple and complex tropical successional ecosystems. *Plant and Soil*, 1988, 106: 73~84
- 2 单建平, 陶大立等. 长白山阔叶红松林细根周转的研究. *应用生态学报*, 1993, 4(3): 241~245
- 3 廖兰玉, 丁明懋等. 鼎湖山某些植物群落根系生物量及其氮素动态. *植物生态学与地植物学学报*, 1993, 17(1): 56~60
- 4 Zhu, X. T., L. M. James, and J. W. Hanover. Timber supply and demand in China. *Journal of Forestry*, 1987, 21: 41~43
- 5 黄展帆, 范征广. 鼎湖山的气候. *热带亚热带森林生态系统研究*, 1982, 1: 11~23
- 6 Mo, J. M., S. Brown, M. Lenart, G. H. Kong. Nutrient dynamics of a Human-impacted Pine Forest in a MAB Reserve of Subtropical China. *Biotropica*, 1995, 27(3): 290~304
- 7 何金海. 鼎湖山自然保护区之土壤. *热带亚热带森林生态系统研究*, 1982, (1): 25~38
- 8 Anderson, J. M., and J. S. Ingram. *Tropical soil biology and fertility; a handbook of methods*. CAB International, Wallingford, Oxford, England. 1989
- 9 Scott, T. J., M. J. Mitchell, A. Santos, and P. Destaffen. Comparison of two methods for measuring ammonium in solution samples. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1989, 20: 1131~1144
- 10 Luh Huang, C. Y., and E. E. Schulte. Digestion of plant tissue for analysis by ICP emission spectroscopy. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1985, 16: 943~958
- 11 Gower, S. T. Relations Between Mineral Nutrient Availability and Fine Root Biomass in Two Costa Rican Tropical Wet Forests: A Hypothesis. *Biotropica*, 1987, 19(2): 171~175
- 12 Cuevas, E. and E. Medina. Nutrient dynamics within amazonian forests II. Fine root growth, nutrient availability and leaf litter decomposition. *Oecologia*, 1988, 76: 222~235

The Primary Study on the Fine Root Biomass and Its Relationship with Light Organic Matter in a Pine Forest in Dinghushan Biosphere Reserve

*Mo Jiangming*¹ *Kong Guohui*¹ *Sandra Brown*²
*Zhang Youchang*¹ *Melanie Lenart*²

⁽¹⁾South China Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650

⁽²⁾University of Illinois, W-503 Turner Hall, 1102 South Goodwin, Urbana, IL 61801, USA)

ABSTRACT The fine root biomass and its relationship with light organic matter in the soil to 10 cm depth in a pine forest in Dinghushan Biosphere Reserve of subtropical China were studied, by comparing the control (no harvest) and treatment (continued harvest according to local practice) plots during a five year's period. The total fine root biomass was 6.40~12.11 t · hm⁻². Its mean value was higher than that of adjacent broad-leaved forest (5.66±0.44 t · hm⁻²), but lower than that of adjacent pine and broad-leaved mixed forest (10.62±1.25 t · hm⁻²). The fine root biomass showed seasonal variation. The human activities of harvesting litter and understory had significantly negative effects on the fine root biomass. The light organic matter in this forest was 5.72~13.64 t · hm⁻². Fine root biomass was positively correlated with light organic matter. This relationship was more significant in treatment plots than in control plots, indicating that fine root biomass was the major source of soil organic matter in this forest. The nutrient concentrations of the fine root were: N 0.6928%~0.9068%; P 0.039%~0.056%; K 0.3715%~0.536%; Ca 0.0547%~0.116%; Mg 0.0183%~0.0887% and generally showed the highest in June and the lowest in October. The nutrient concentrations of the five elements exhibited in the following order: N>K>Ca>P>Mg.

Key words *Pinus massoniana*, Fine root biomass, Light organic matter, Dinghushan.