不同林龄南方红豆杉人工林细根结构及 C和N含量比较与相关性分析

刘艳艳^{1a},林 晗^{1a,1b},巢 林^{1a},林勇明^{1a,1b},陈建忠³,吴承祯^{1a,1b,2,①} (1. 福建农林大学: a. 林学院, b. 福建省高校森林生态系统过程与经营重点实验室,福建福州 350002; 2. 武夷学院生态与环境学院,福建武夷山 354300; 3. 建阳市林业局,福建建阳 354200)

摘要: 对不同林龄南方红豆杉[*Taxus chinensis* var. *mairei* (Lemee et Lévl.) Cheng et L. K. Fu]人工林不同等级细根的结构参数及 C 和 N 含量进行了比较,并分析了细根结构参数与 C 和 N 含量的相关性。结果显示:不同林龄南方 红豆杉 I ~ V级 细根的根 直径、比根长(SRL)和比表面积(SSA)均有差异,6、7 和 8 a 植株细根的平均直径分别为 1.073、1.815 和 1.734 mm,平均 SRL 分别为 14.09、12.88 和 14.12 m · g⁻¹,平均 SSA 分别为 54.93、45.85 和 50.72 cm² · g⁻¹;随根序等级提高,同龄植株细根的 SRL 和 SSA 均依次降低、根直径则逐渐增大,且总体差异显著 (P<0.05);总体上,除 I 级细根外,7 a 植株各级细根的 SRL 和 SSA 均依次降低、根直径则逐渐增大,且总体差异显著 (P<0.05);总体上,除 I 级细根外,7 a 植株各级细根的 SRL 和 SSA 均最小;6 a 植株各级细根的直径均最小。各林 龄植株细根的根尖密度和分叉数无显著差异(P>0.05),但均以6 a 植株最大。细根干质量以6 a 植株最低、7 a 植 株最高,且差异显著。随根序等级提高,细根 C 含量逐渐增加、N 含量则逐渐降低,同龄植株 I ~ V级细根的 C 和 N 含量总体上差异显著;各级细根中,7 a 植株的 C 含量均最高、8 a 植株的 N 含量均最低; 6、7 和 8 a 植株细根的平均 C 含量分别为 454.41、501.90 和441.55 mg · g⁻¹,平均 N 含量分别为 12.63、11.99 和 5.88 mg · g⁻¹。各林龄植株 细根的 C 含量与细根直径和干质量均正相关,与 SRL、SSA 和根尖密度均近相关;N 含量与细根直径均负相关,与 SRL、SSA 和根尖密度均正相关;此外,N 含量与干质量以及 C 和 N 含量与分叉数的相关性均无规律性。研究结果 表明:树龄对南方红豆杉细根直径影响较大,而不同序级细根的结构差异更明显。

关键词:南方红豆杉人工林;细根;结构;C和N含量;林龄;相关性

中图分类号: Q945.12; S791.49.01 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2014)03-0008-07 DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2014.03.02

Comparison on structure and C and N contents of fine root and their correlation analysis of *Taxus* chinensis var. mairei plantation with different stand ages LIU Yanyan^{1a}, LIN Han^{1a,1b}, CHAO Lin^{1a}, LIN Yongming^{1a,1b}, CHEN Jianzhong³, WU Chengzhen^{1a,1b,2,①} (1. Fujian Agriculture and Forestry University: a. College of Forestry, b. Key Laboratory of Forest Ecosystem Process and Management of Fujian University, Fuzhou 350002, China; 2. College of Ecology and Environment, Wuyi University, Wuyishan 354300, China; 3. Forestry Bureau of Jianyang City, Jianyang 354200, China), J. Plant Resour. & Environ. 2014, 23(3): 8-14

Abstract: Structure parameters and C and N contents of different grade fine roots of *Taxus chinensis* var. *mairei* (Lemee et Lévl.) Cheng et L. K. Fu plantation with different stand ages were compared, and correlation between fine root structure parameters and its C and N contents was analyzed. Results show that there are differences in root diameter, specific root length (SRL) and specific surface area (SSA) of I - V grades of fine roots of *T. chinensis* var. *mairei* with different stand ages, average root diameters of 6, 7 and 8 a plants are 1.073, 1.815 and 1.734 mm, average SRL are 14.09, 12.88 and 14.12 $m \cdot g^{-1}$, and average SSA are 54.93, 45.85 and 50.72 cm² $\cdot g^{-1}$, respectively; with enhancing of root

作者简介:刘艳艳(1986—),女,山西吕梁人,硕士研究生,主要研究方向为森林生态学。

^①通信作者 E-mail: fjwcz@126.com

收稿日期: 2014-02-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30671664); 国家教育部博士学科专项基金项目(200803890010); 福建省科学技术厅重点项目 (2011N0002)

grade, gradually, SRL and SSA of fine root of same age plants decrease while root diameter increases with generally significant difference (P < 0.05); in general, except I grade fine root, SRL and SSA of different grade fine roots of 7 a plant all are lower than those of 6 and 8 a plants; root diameter of different grade fine roots of 6 a plant are the smallest. There are no significant difference (P > 0.05) in root-tip density and fork number among different age plants, but those of 6 a plant are the highest. Dry weight of fine root of 6 a plant is the lowest while that of 7 a plant is the highest with significant difference. With enhancing of root grade, C content in fine root increases gradually while N content decreases gradually. There are generally significant difference in C and N contents among I – V grade fine roots of the same age plant. In different grades of fine roots, C content in 7 a plant is the highest while N content in 8 a plant is the lowest; average C content of 6, 7 and 8 a plants is 454.41, 501.90 and 441.55 mg \cdot g⁻¹ and average N content is 12.63, 11.99 and 5.88 mg \cdot g⁻¹, respectively. In fine root, C content has positive correlation with root diameter and dry weight and negative correlation with SRL, SSA and root-tip density; N content has negative correlation with root diameter and positive correlation with SRL, SSA and root-tip density; furthermore, there is no regular correlation in N content with dry weight, in C and N contents with fork number. It is suggested that tree age has a stronger influence on fine root diameter of T. chinensis var. mairei, while it is more obvious in structure variation of fine root with different grades.

Key words: Taxus chinensis var. mairei plantation; fine root; structure; C and N contents; stand age; correlation

细根为植物的功能性根,其分支系统复杂^[1],对 林木的生理功能有重要作用^[2];细根不但是森林生态 系统碳和养分循环的重要组成部分^[3-4],也是供应水 分和养分的重要器官^[5]。细根的数量、分布、形态和 结构与其功能密切相关,这些特征除受其自身遗传特 性的影响外,对土壤资源状况及环境变化也较为敏 感^[6]。此外,细根不是一个均质的周转很快的系统, 而是由形态、寿命及生理上差异巨大的不同部分组成 的高度异质的混合体^[7],对细根形态异质性的研究是 认识细根动态变化、了解细根功能及准确估计细根寿 命的前提^[8-9]。故对同一树种不同林龄细根的结构、 C和N含量及其相互关系的研究对进一步揭示细根 结构对植株 C和N分布的影响特征有重要作用。

目前大部分学者将直径小于 2 mm 作为细根的划 分标准,但 Pregitzer 等^[10]认为这类根的形态和功能差 异很大,而按照根系发育顺序并利用序级划分细根, 对其结构与功能关系的预测十分有利^[11]。此外,与 地上部分的相关研究相比,细根的研究缺乏深度和广 度,特别是对细根结构与功能方面的研究较少^[12],研 究内容集中于其序级和直径等结构参数对 C、N 含量 的影响,且获得的研究结果相似,但对细根的其他结 构参数与其 C、N 含量间的关系尚不明了。

目前,有关南方红豆杉 [*Taxus chinensis* var. *mairei* (Lemee et Lévl.) Cheng et L. K. Fu]生态特征 的研究较多,主要涉及种群生命表^[13]、种内种间竞 争^[14]和点格局^[15]等方面,而对其根系特征及根系在 养分循环中的作用等方面的相关研究有所欠缺。鉴 于此,作者以不同林龄(6、7和8a)南方红豆杉人工 林为研究对象,测定不同等级细根的直径、比根长、比 表面积、根尖密度和分叉数及干质量等结构和形态参 数,并测定细根的C和N含量,明确其细根时空分布 特征及其对C、N吸收与释放的影响效应,为南方红 豆杉人工林合理经营提供参考依据。

1 研究地概况和研究方法

1.1 研究地概况

研究地位于福建省建阳市溪东国有林场内,地处 武夷山南麓;地理坐标为北纬 27°20′、东经 118°19′, 平均海拔 352 m,面积 3 383 km²。属中亚热带季风性 气候;昼夜温差大,年均温 18 ℃;雨季集中,年均降雨 量 1 697 mm;年均日照时数 1 802 h,无霜期 282 d。 植被属中亚热带常绿阔叶林,森林覆盖率达 72.5%。 土壤为红壤和黄壤,土层厚度 90~110 cm,有机质含 量 3%~5%, pH 5.0~pH 6.5,含沙量低于 10%。

于 2005 年、2006 年和 2007 年将南方红豆杉套种 于 1989 年 种 植 的 杉 木 [*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.]人工林中,形成杉木-南方红豆杉混 交林,南方红豆杉初始种植密度均为 10 000 hm⁻²。选 取伴生树种、林分结构、立地条件和森林经营管理措 施基本一致但南方红豆杉株龄分别为 6、7 和 8 a 的林 分设置样地,各林分的基本概况见表1。每一林龄的

表 1 不同林龄南方红豆杉人工林的基本概况($\overline{X}\pm SD$) Table 1 Basic situation of <i>Taxus chinensis</i> var. <i>mairei</i> (Lemee et Lévl.) Cheng et L. K. Fu plantation with different stand ages ($\overline{X}\pm SD$)								
林龄/a Stand age	平均海拔/m Average altitude	坡度/(°) Slope	平均密度/hm ⁻² Average density	平均胸径/cm Average DBH	平均树高/m Average height			
6	323	28	4 775	2.47±2.05	3.93±1.42			
7	343	26	1 350	3.13 ± 0.40	4.20±0.72			
8	318	25	2 425	4.87±0.95	4.87 ± 0.60			

林分各设置 3 块面积为 20 m×20 m 的样地,每块样地 各选取3株大小相近的样株。

分析:采用相关性分析和回归分析法分析不同林龄细 根的结构和形态指标与 C、N 含量的相关性。

1.2 研究方法

1.2.1 细根采集和处理方法 于 2013 年 7 月上旬 参照 Guo 等^[9]的完整土块法取样。在每株南方红豆 杉样株基部 0.5~1.0 m 范围内分别挖取 4 个 10 cm× 10 cm×20 cm 的土块,将土块内完整根系全部取出, 清除根表面土壤后装入自封袋,置于2℃~3℃冰箱 内冷藏。根据 Pregitzer 等^[10]的分级方法对采集的完 整根系进行分级,最远端的根尖定为Ⅰ级根,2个Ⅰ级 根交汇处为Ⅱ级根,依次类推至Ⅴ级根。分别将分级 后的各级细根装入盛有去离子水的玻璃皿内,置于冰 箱中冷藏,供结构及形态指标测定。

1.2.2 指标测定方法 用 Epson Expression 10000 XL型数字化扫描仪(Epson America, Inc.)分别对各 级细根进行扫描,3次重复;然后用 Win RHIZO (Pro 2009c)根系图像分析软件分析细根图像,直接获得各 级细根的直径、根长、表面积、根尖数及分叉数。扫描 完成后先分别称量各级细根的鲜质量,然后将所有样 品分别置于65℃烘箱中处理48h,称量各级细根的 干质量。根据以下公式计算细根的比根长(SRL, specific root length)、比表面积(SSA, specific surface area)、根尖密度和分叉数:SRL=总根长/干质量; SSA=根表面积/干质量;根尖密度=各林龄细根根尖 数/根长;分叉数=各林龄细根分叉数/根长。

将上述烘干后的各级细根分别放入玛瑙研钵中 研磨成粉并过2 mm 筛,装入自封袋中备用。分别精 确称量约1 mg(精度0.01)细根粉末,用锡纸小杯包 裹:用 Euro Vector EA 3000 型元素分析仪(Euro Vector S. P. A, Italy)分析各级细根的 C 和 N 含量, 重复3次。用 Callidus Software Interface(Version 5.1) 软件直接读取数据。

1.3 数据计算和统计分析

用 EXCEL 2007 数据处理软件对 C 和 N 含量测 定数据进行单位换算。利用 SPSS 13.0 统计分析软 件、采用单因素和双因素方差分析法进行差异显著性

结果和分析 2

2.1 细根形态和结构指标的比较

不同林龄南方红豆杉不同等级细根的直径、比表 面积(SSA)和比根长(SRL)以及细根的根尖密度、分 叉数和干质量的测定结果见表2。

由表2可见:不同林龄南方红豆杉 I~V级细根 的 SRL 和 SSA 均有一定差异。 I 级细根的 SRL 以 7 a 植株最大、8 a 植株最小,且二者间差异显著(P< 0.05); 而Ⅱ~V级细根的 SRL 均以8 a 植株最大、7 a 植株最小;3 个林龄Ⅱ级细根的 SRL 差异显著,7 a 植 株Ⅲ~V级细根的 SRL 显著小于6 和 8 a 植株,但后 二者间差异不显著。 I级细根的 SSA 以 7 a 植株最 大、8 a 植株最小; Ⅱ级细根的 SSA 以 8 a 植株最大、 7 a 植株最小,但三者间均无显著差异;Ⅲ级细根的 SSA 以 6 a 植株最大、7 a 植株最小, IV 和 V 级细根的 SSA 以8 a 植株最大、7 a 植株最小,但6 和8 a 植株间 Ⅲ~V级细根的 SSA 差异不显著。

6、7 和 8 a 南 方 红 豆 杉 细 根 的 平 均 SRL 分别 为14.09、12.88 和14.12 m·g⁻¹, 平均 SSA 分别为 54.93、45.85 和 50.72 cm² · g⁻¹;同一林龄植株各级 细根的 SRL 和 SSA 的变化规律相似,均随根序等级 升高依次降低,且同一林龄各级细根的 SRL 和 SSA 总体上差异显著。总体上看,除 I级细根外,7 a 南方 红豆杉的不同等级细根的 SRL 和 SSA 均小于6 和8 a 南方红豆杉。表明不同等级细根的 SRL 和 SSA 差异 比不同林龄间更为明显。

不同林龄南方红豆杉的细根直径差异明显,细根 平均直径以7 a 植株最大(1.815 mm)、8 a 植株次之 (1.734 mm)、6 a 植株最小(1.073 mm)。其中,6 a 植 株的各级细根直径均最小且总体上与另2个林龄植 株差异显著;Ⅰ和Ⅱ级细根直径均随林龄增大逐渐增 加且均以8 a植株最大,Ⅲ~V级细根直径则以7 a

林龄/a Stand age	オ	根尖密度/cm ⁻¹				
	Ι	П	Ш	IV	V	Root-tip density
6	0.74±0.15cB	0.92±0.26bcB	1.02±0.19bB	1.12±0.31bB	1.58±0.46aB	6.95±2.84A
7	0.86±0.29cAB	1.19±0.39cAB	$1.92{\pm}0.87{\rm bA}$	2.31 ± 0.87 abA	2.80±0.76aA	$6.48 \pm 1.80 \text{A}$
8	1.09 ± 0.54 cA	1.45 ± 0.80 bcA	$1.67{\pm}0.77{\rm abcA}$	2.13 ± 1.05 abA	2.33±1.22aA	5.15±2.52A
林龄/a Stand age	不同等级					
	Ι	П	Ш	IV	V	Fork number
6	28.32±2.63aAB	17.82±4.18bB	13.23±6.46cA	6.67±0.39dA	4.42 ± 1.09 dA	11.68±6.68A
7	34.14±11.89aA	$16.29\pm5.62 \mathrm{bC}$	7.59 ± 0.60 cB	$4.45{\pm}0.95{\rm cdB}$	1.93 ± 0.62 dB	$7.53\pm 5.26 \text{A}$
8	26.32±5.24aB	19.14±7.31bA	13.92±5.72cA	6.76±1.92dA	4.45 ± 2.48 dA	8.11±2.55A
林龄/a Stand age	不同等级细	干质量/g				
	Ι	Π	Ш	IV	V	Dry weight
6	113.65±18.02aA	66.64±21.17bA	52.90±19.89cA	25.99±6.22dA	15.48±4.09dAB	3.84±0.07A
7	118.37±41.52aA	$56.67 \pm 19.87 \mathrm{bA}$	26.78±1.67cB	16.81±4.71cB	10.62±5.77cB	$8.52 \pm 0.55 B$
8	98.66±22.11aA	68.37±28.06bA	43.59±21.96cA	26.85±8.74dA	16.14±8.16dA	6.42±0.36AB

表 2 不同林龄南方红豆杉人工林细根结构和形态指标的比较($\overline{X}\pm SD$)¹⁾ Table 2 Comparison on fine root structure and morphological indexes of *Taxus chinensis* var. *mairei* (Lemee et Lévl.) Cheng et L. K. Fu plantation with different stand ages ($\overline{X}\pm SD$)¹⁾

¹⁾ I, Ⅲ, Ⅳ, V: 表示细根等级,其中最远端根尖为 I 级根, I 级根交汇处为 I 级根, 依次划分至 V 级 Representing fine root grades, in which, I grade root is the root-tips in the farthest end, Ⅱ grade root is in the confluence point of I grade roots, and successively until V grade. 同 行中不同的小写字母表示同一林龄不同等级细根间差异显著(P<0.05) Different small letters in the same row indicate the significant difference among different grades of fine root in the same stand age (P<0.05); 同列中不同的大写字母表示不同林龄间差异显著(P<0.05) Different capitals in the same column indicate the significant difference among different stand age (P<0.05).

植株最大,但7和8a植株I~V级细根直径均无显 著差异。同一林龄I~V级细根直径均随根序等级 提高逐渐增大,各等级细根直径总体上差异显著。

根尖密度和分叉值越大,表明根系吸收养分或水 分的能力越强。不同林龄南方红豆杉细根的根尖密 度和分叉数无显著差异,但均以6a植株最大,表明其 根系的吸收能力大于7和8a植株。不同林龄植株的 细根干质量有一定差异,以6a植株最低,7a植株最 高,且后者是前者的2倍以上,差异显著;8a植株细 根干质量则与6和7a植株无显著差异。

2.2 细根中C和N含量的比较

不同林龄南方红豆杉各级细根中 C 和 N 含量的 测定结果见表 3。结果表明:随根序等级增大,不同林 龄南方红豆杉细根中 C 含量均呈逐渐上升的趋势,而 N 含量则呈逐渐降低的趋势;林龄、根序以及林龄和 根序的交互作用对细根中 C 和 N 含量的影响均达到 极显著(*P*<0.01)或显著水平(*P*<0.05)。

6、7 和 8 a 南方红豆杉细根的平均 C 含量分别为 454.41、501.90 和 441.55 mg · g⁻¹。各级细根的 C 含 量均以 7 a 植株最高,且与 6 和 8 a 植株差异显著; I 和 Ⅱ级细根的 C 含量以 6 a 植株最低, Ⅲ ~ V级细根 的 C 含量以 8 a 植株最低; 但 6 和 8 a 植株 I ~ Ⅲ级 细根 C 含量无显著差异,二者的Ⅳ和Ⅴ级细根 C 含量则差异显著。此外,同一林龄 I ~ Ⅴ级细根的 C 含量 总体上差异显著。

各级细根的 N 含量均以 8 a 植株最低, 且与6 和 7 a 植株差异显著; I 和 II 级细根的 N 含量以 7 a 植 株最高、6 a 植株次之, 二者间无显著差异; II ~ V级 细根的 N 含量以 6 a 植株最高、7 a 植株次之, 二者间 差异显著; 6、7 和 8 a 植株细根的平均 N 含量分别为 12.63、11.99 和 5.88 mg ⋅ g⁻¹。此外, 同林龄 I ~ V 级细根的 N 含量总体上差异显著。

2.3 细根形态和结构指标与 C 和 N 含量的相关性

不同林龄南方红豆杉细根的形态和结构参数与 其 C 和 N 含量的相关系数见表 4。

不同林龄植株细根的 C 含量与其直径和干质量 均呈正相关,与 SRL、SSA 和根尖密度均呈负相关。 其中,6 a 植株细根的 C 含量与 SRL 显著相关(P< 0.05),与 SSA 极显著相关(P<0.01);7 a 植株细根的 C 含量与根直径、SRL、SSA 和干质量均显著相关;8 a 植株细根的 C 含量与 SRL、根尖密度和干质量均显著 相关,与 SSA 极显著相关;各龄级植株细根的 C 含量 与其余指标的相关性均未达到显著水平(P>0.05)。

3个林龄南方红豆杉细根的 N 含量与细根直径

均呈负相关,与 SRL、SSA 和根尖密度均呈正相关,6 a 植株细根的 N 含量与干质量呈正相关,7 和 8 a 植株 细根的 N 含量与干质量则呈负相关。其中,6 a 植株 细根的 N 含量与根尖密度显著相关,与根直径极显著 相关;7 a 植株细根的 N 含量与 SRL 和 SSA 显著相 关,与根直径极显著相关;8 a 植株细根的 N 含量与 SRL、SSA 和干质量显著相关,与根尖密度极显著相关;各龄级植株细根N含量与其余指标的相关性均没有达到显著水平。

此外,不同林龄南方红豆杉细根的C和N含量与 分叉数呈正相关或负相关,但相关性均不显著。表明 细根的分叉数对其营养成分积累无明显影响。

表3 不同林龄南方红豆杉人工林细根中 C 和 N 含量的比较(\overline{X} ±SD)¹⁾

Table 3 Comparison on C and N contents in fine root of *Taxus chinensis* var. *mairei* (Lemee et Lévl.) Cheng et L. K. Fu plantation with different stand ages $(\bar{X}\pm SD)^{(1)}$

林龄/a	不同等级细根中 C 含量/mg・g ⁻¹ C content in fine root with different grades						
Stand age	Ι	П	Ш	IV	V		
6	375.73±21.39dB	423.87±51.25cB	473.28±50.10bB	485.46±7.68abB	513.72±22.84aB		
7	461.73±25.31cA	$474.41 \pm 26.37 \mathrm{cA}$	512.45±12.83bA	522.66±25.34abA	538.23±21.07aA		
8	388.81±28.89cB	$435.76 \pm 17.57 \text{bB}$	457.16±27.46abB	458.88±36.73abC	467.15±34.74aC		
	不同等级细根中 N 含量/mg・g ⁻¹ N content in fine root with different grades						
Stand age	Ι	П	Ш	IV	V		
6	13.86±0.62aA	13.39±0.27abA	12.89±1.87abA	12.32±1.80bA	10.68±0.32cA		
7	14.65±1.29aA	13.70±1.82aA	$11.38 \pm 1.33 \text{bB}$	$10.62 \pm 0.90 \text{bcB}$	9.60±0.79cB		
8	9.05±2.25aB	7.01±1.68bB	6.27±1.58bC	3.95±2.39cC	3.13±1.59cC		

¹⁾ I, II, II, IV, V: 表示细根等级,其中最远端根尖为 I 级根, I 级根交汇处为 II 级根, 依次划分至 V 级 Representing fine root grades, in which, I grade root is the root-tips in the farthest end, II grade root is in the confluence point of I grade roots, and successively until V grade. 同行中不同的小写字母表示同一林龄不同等级细根间差异显著(P<0.05) Different small letters in the same row indicate the significant difference among different grades of fine root in the same stand age (P<0.05); 同列中不同的大写字母表示不同林龄间差异显著(P<0.05) Different capitals in the same column indicate the significant difference among different stand ages (P<0.05).

林龄/a Stand age	指标 — Index	各指标间的相关系数 Correlation coefficient among different indexes						
		直径 Diameter	比根长 Specific root length	比表面积 Specific surface area	根尖密度 Root-tip density	分叉数 Fork number	干质量 Dry weight	
6	C 含量 C content	0.817	-0.982 *	-0.976 **	-0.649	-0.291	0.259	
	N 含量 N content	-0.970 **	0.877	0.875	0.913 *	0.642	0.117	
7	C 含量 C content	0.920 *	-0.928 *	-0.920 *	-0.118	0.675	0.903 *	
	N 含量 N content	-0.984 **	0.900 *	0.892 *	0.169	0.156	-0.737	
8	C 含量 C content	0.819	-0.958 *	-0.971 **	-0.923 *	-0.552	0.879 *	
	N 含量 N content	-0.801	0.979 *	0.978 *	0.977 **	0.621	-0.943 *	

表 4 不同林龄南方红豆杉人工林细根结构和形态指标与 C 和 N 含量的相关系数¹⁾ Table 4 Correlation coefficient of structure and morphological indexes with C and N contents of fine root of *Taxus chinensis* var. *mairei* (Lemee et Lévl.) Cheng et L. K. Fu plantation with different stand ages¹⁾

¹⁾ * : P < 0.05; ** : P < 0.01.

3 讨论和结论

根系表面积是研究水分吸收或养分吸收的重要 参数之一^[16],而细根比表面积则表示相同单位的面 积投入到细根生物量用于吸收养分的效率,其值越大 则表明投入相同成本养分吸收效率就越高^[17];比根 长则是评估植物吸收水分和养分的重要指标^[18]。他 人的研究结果^[19-22]表明:随根序等级增加,细根直径 增加,而比根长和比表面积则降低。本研究中,3个林 龄南方红豆杉细根均表现出"I级根比根长和比表面 积最高、直径最小,V级根比根长和比表面积最低、直 径最大"的现象,尤其7和8a植株细根的直径可达 2.33 mm以上,与前人得出的规律基本一致。但是, Pregitzer等^[10]认为:低级根直径都小于0.3 mm、根长 都小于2 mm;而本研究中,3个林龄植株的低等级细 根的最小直径为0.74 mm、根长均大于2 mm,均高于前述的标准。这一现象与南方红豆杉自身的生理特征密切相关,植株可能通过根系连接长度的增加提高 其对营养物质的获取能力^[23]。此外,在不同的气候 区域(温带、亚热带或热带)间细根直径均有较大差 异,而不同树种的细根在结构(根序)和功能上也存在 很大差异,如果仅依据"直径小于2 mm 或小于1 mm" 的标准来定义细根则具有一定的局限性^[20]。

研究结果表明:南方红豆杉 I 和 II 级细根的直径 随林龄增加显著增加;与6 a 植株相比,7 a 植株的 V 级细根的直径明显增大,而其 I 级细根的比根长和比 表面积明显提高。而李瑞霞等^[24]的研究结果表明: 与40 a 侧柏[*Platycladus orientalis* (Linn.) Franco]人 工林相比,48 a 侧柏的 V 级细根直径显著降低、V 级 细根根长和 I 级细根的比根长显著增加;55 a 侧柏 IV 级细根的直径和根长以及 I 级细根的比根长显著增 加。这种差异性和相似性除与树种自身遗传差异有 关外,还与林龄长短、林龄间隔以及林分密度有关,且 林龄间隔能直接影响不同树种细根的周转状况。此 外,树龄对细根比表面积和比根长的影响不显著,而 对细根直径有极显著影响;而各级细根间的比根长、 比表面积和直径差异均达到极显著水平,表明同一树 种不同序级间细根的结构差异更明显。

南方红豆杉细根的干质量以7a植株最大、8a植 株次之、6 a 植株最小, 且 6 与 7 a 植株细根的干质量 差异达显著水平。这与刘波等[25] 对亚热带常绿阔叶 林和 Peichl 等^[26] 对美国白松 (Pinus strobus Linn.) 的 相关研究结果相似。而林希昊等[27]对不同林龄橡胶 [Hevea brasiliensis (Willd. ex A. Juss.) Müll. Arg.]林 细根生物量的研究以及马炜等[28]对不同林龄长白山 落叶松(Larix olgensis A. Henry)细根生物量的研究均 得出"根系生物量随林龄增大而增加"的结果,可能与 样地的受干扰程度、林分密度以及树龄间隔等差异有 关。林木细根生物量还受产地的气候、土壤类型、地 形、季节、林隙和树冠等因素的影响^[29-32];随细根的不 断生长、死亡和分解,其生物量的年际变化也较大。 而本研究选择的3个林龄分别仅间隔1a,供试样株 也均为样地内长势较好的植株,且种植于同一样地 内,气候差异的影响较小,因此,由于个体间的生长差 异造成细根生长量出现上述结果。但林龄间隔对不 同树种细根结构差异的影响则有待深入研究。

南方红豆杉细根结构及其与 C、N 含量均有不同

程度的相关性:细根的比根长、比表面积和根尖密度 与C含量呈负相关,而与N含量呈正相关,仅差异的 显著性不同。细根结构与C和N含量间的关系与林 木根系所处的土壤环境密切相关,其中,土壤的物理 性质(如温度、容重、含水率等)^[33-34]、化学性质及微 生物环境均会影响根系的生长与分布。随着土壤养 分和水分等条件的改变.C的分配格局以及细根的生 理功能也会发生变化^[35]。刘苑秋等^[36]对退化红壤重 建森林初期细根特征及其作用机制的研究结果表明: 林木细根分布与土壤有机质、全 N 和有效 K 水平及其 pH 值等指标间存在一定的线性关系。当土壤资源有 效性增加时,C向地下部分的分配增加,以促进细根 生长和生物量的积累,增强细根吸收水分和养分的能 力^[37-38]。因此,探讨不同林龄南方红豆杉人工林细根 结构与C和N含量的关系以及与土壤物理和化学性 质及微生物环境之间的联系,对南方红豆杉人工林的 合理经营和管理具有一定的应用意义。

参考文献:

- PREGITZER K S. Fine root of trees—a new perspective[J]. New Phytologist, 2002, 154(2): 267–270.
- [2] MAKITA N, HIRANO Y, MIZOGUCHI T, et al. Very fine roots respond to soil depth: biomass allocation, morphology, and physiology in a broad-leaved temperate forest [J]. Ecological Research, 2011, 26(1): 95-104.
- [3] PREGITZER K S, KING J S, BURTON A J, et al. Responses of tree fine roots to temperature[J]. New Phytologist, 2000, 147(1): 105-115.
- USMAN S, SINGH S P, RAWAT Y S, et al. Fine root decomposition and nitrogen mineralisation patterns in *Quercus leucotrichophora* and *Pinus roxburghii* forests in central Himalaya [J]. Forest Ecology and Management, 2000, 131: 191-199.
- [5] CALDWELL M M. Competition between root systems in natural communities[M]//GERGORY P J, LAKE J V, ROSE D A. Root Development and Function. Cambridge: Cambridge University Press, 1987.
- [6] HENDRICK R L, PREGITZER K S. The dynamics of fine root length, biomass, and nitrogen content in two northern hardwood ecosystems [J]. Canadian Journal of Forest Research, 1993, 23 (12): 2507-2520.
- [7] 王政权,郭大立.根系生态学[J].植物生态学报,2008,32
 (6):1213-1216.
- [8] TRUMBORE S E, GAUDINSKI J B. The secret lives of roots [J]. Science, 2003, 302: 1344-1345.
- [9] GUO D, LI H, MITCHELL R J, et al. Fine root heterogeneity by branch order: exploring the discrepancy in root turnover estimates between minirhizotron and carbon isotopic methods [J]. New

Phytologist, 2008, 177(2): 443-456.

- [10] PREGITZER K S, DEFOREST J L, BURTON A J, et al. Fine root architecture of nine North American trees [J]. Ecological Monographs, 2002, 72(2): 293-309.
- [11] FITTER A H, STICKLAND T R. Architectural analysis of plant root systems Ⅲ. Studies on plants under field conditions[J]. New Phytologist, 1992, 121(2): 243-248.
- [12] 刘 佳,项文化,徐 晓,等.湖南会同5个亚热带树种的细根构型及功能特征分析[J].植物生态学报,2010,34(8):938-945.
- [13] 洪 伟,王新功,吴承祯,等.濒危植物南方红豆杉种群生命 表及谱分析[J].应用生态学报,2004,15(6):1109-1112.
- [14] 刘 形,李云灵,周志强,等.天然东北红豆杉(Taxus cuspidata)种内和种间竞争[J].生态学报,2007,27(3):0924-0929.
- [15] 王 磊,孙启武,郝朝运,等.皖南山区南方红豆杉种群不同 龄级立木的点格局分析[J].应用生态学报,2010,21(2): 272-278.
- [16] 刘建军. 秦岭油松、锐齿栎根系生态研究[M]. 陕西:西北大学 出版社, 2002: 36.
- [17] BAUHUS J, KHANNA P K, MENDEN N. Aboveground and belowground interactions in mixed plantations of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii* [J]. Canadian Journal of Forest Research, 2000, 30(12): 1886–1894.
- [18] BERNTSON G M. Modelling root architecture: are there tradeoffs between efficiency and potential of resource acquisition? [J]. New Phytologist, 1994, 127(3): 483-493.
- [19] 熊德成,黄锦学,杨智杰,等.亚热带6种树种细根序级结构 和形态特征[J].生态学报,2012,32(6):1888-1897.
- [20] 常文静,郭大立.中国温带、亚热带和热带森林45个常见树种 细根直径变异[J].植物生态学报,2008,32(6):1248-1257.
- [21] 师 伟,王政权,刘金梁,等.帽儿山天然次生林20个阔叶树 种细根形态[J].植物生态学报,2008,32(6):1217-1226.
- [22] 许 旸,谷加存,董雪云,等.海南岛4个热带阔叶树种前5 级细根的形态、解剖结构和组织碳氮含量[J].植物生态学报, 2011,35(9):955-964.
- [23] 杨小林,张希明,李义玲,等. 塔克拉玛干沙漠腹地 3 种植物根系构型及其生境适应策略[J]. 植物生态学报,2008,32
 (6):1268-1276.
- [24] 李瑞霞,凌 宁,郝俊鹏,等.林龄对侧柏人工林碳储量以及 细根形态和生物量的影响[J].南京林业大学学报:自然科学 版,2013,37(2):21-27.
- [25] 刘 波, 余艳峰, 张贇齐, 等. 亚热带常绿阔叶林不同林龄细

根生物量及其养分[J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2008, 32(5): 81-84.

- [26] PEICHL M, ARAIN M A. Above- and below-ground ecosystem biomass and carbon pools in an age-sequence of temperate pine plantation forests[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2006, 140: 51-63.
- [27] 林希昊,王真辉,陈秋波,等.不同树龄橡胶(Herea brasiliensis)林细根生物量的垂直分布和年内动态[J].生态 学报,2008,28(9):4128-4135.
- [28] 马 炜, 孙玉军, 郭孝玉, 等. 不同林龄长白落叶松人工林碳 储量[J]. 生态学报, 2010, 30(17): 4659-4667.
- [29] VOGT K A, VOGT D J, PALMIOTTO P A, et al. Review of root dynamics in forest ecosystems grouped by climate, climatic forest type and species[J]. Plant and Soil, 1995, 187(2): 159–219.
- [30] IDOL T W, POPE P E, PONDER F, Jr. Fine root dynamics across a chronosequence of upland temperate deciduous forests[J]. Forest Ecology and Management, 2000, 127: 153–167.
- [31] 朱 慧,洪 伟,吴承祯,等.天然更新的檫木林根系生物量的研究[J]. 植物资源与环境学报,2003,12(3):31-35.
- [32] 杨秀云,韩有志.关帝山华北落叶松人工林细根生物量空间分 布及季节变化[J].植物资源与环境学报,2008,17(4):37-40.
- [33] 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.
- [34] 韦兰英,上官周平.黄土高原不同演替阶段草地植被细根垂直 分布特征与土壤环境的关系[J].生态学报,2006,26(11): 3740-3748.
- [35] BURTON A J, PREGITZER K S, HENDRICK R L. Relationships between fine root dynamics and nitrogen availability in Michigan northern hardwood forest [J]. Oecologia, 2000, 125(3): 389-399.
- [36] 刘苑秋,罗良兴,刘亮英,等.退化红壤重建森林初期细根特 征及其作用机理研究[J].应用生态学报,2005,16(9): 1735-1739.
- [37] KING J S, ALBAUGH T J, ALLEN H L, et al. Below-ground carbon input to soil is controlled by nutrient availability and fine root dynamics in loblolly pine [J]. New Phytologist, 2002, 154 (2): 389-398.
- [38] GAUDINSKI J B, TRUMBORE S E, DAVIDSON E A, et al. The age of fine-root carbon in three forests of the eastern United States measured by radiocarbon [J]. Oecologia, 2001, 129 (3): 420 – 429.

(责任编辑:惠 红,佟金凤)