

水杉人工林细根形态及生物量分布规律

曹国华¹, 姚继周², 杨鑫², 方月丰², 张高洁², 于水强^{2*}

(1. 江苏省东台市林场, 江苏东台 224242; 2. 南京林业大学林业生态工程重点实验室, 江苏南京 210037)

摘要 [目的]研究水杉人工林细根形态和生物量分布特征, 为水杉人工林管理提供数据支持。[方法]利用根钻法, 对水杉细根的形态参数(直径、长度、比根长、比表面积)和生物量进行测定。[结果]随着细根根序等级的增加, 水杉细根直径和细根平均长度呈现增加趋势; 一级细根的比根长和比表面积远大于高级根; 水杉细根主要集中在距树干1.5 m 范围内; 在垂直分布上, 绝大部分的细根分布在0~20 cm 土层; 表层以小直径细根为主, 而土壤深层以大直径细根为主。[结论]该研究可为细根生态过程研究及人工林管理提供数据支持。

关键词 水杉; 根序; 细根形态; 生物量; 空间分布

中图分类号 S718.5 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)02-009-03

Morphology of Fine Roots of *Metasequoia glyptostroboides* Plantation and Its Biomass Distribution Laws
CAO Guo-hua¹, YAO Ji-zhou², YANG Xin², YU Shui-qiang^{2*} et al (1. Dongtai Forest Farm of Jiangsu Province, Dongtai, Jiangsu 224242; 2. Key Laboratory of Forestry Ecological Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing, Jiangsu 210037)

Abstract [Objective] To research the morphology of fine roots of *Metasequoia glyptostroboides* plantation and its biomass distribution laws. [Method] morphological parameters of fine roots (diameter, length, specific root length, and specific surface area) and root biomass were detected by root drill method and WinRHIZO roots analyzer. [Result] With the enhancement of fine root order, the diameter and average length of fine roots of *M. glyptostroboides* showed a trend of increase. The specific root length and the specific root surface area in the first order roots were far larger than those of higher order roots. Fine roots of *M. glyptostroboides* were mainly concentrated within 1.5 m from tree trunk. Most of the fine root biomass was distributed in 0-20 cm soil layer. The fine roots of small diameter were in surface soil and the roots of large diameter were in deeper soil. [Conclusion] This research provides data support for the management of plantation and the research on fine root ecological processes.

Key words *Metasequoia glyptostroboides*; Root order; Fine root morphology; Biomass; Distribution

根系是一个复杂的功能系统, 是森林生态系统的重要组成部分, 在树木水分和养分吸收、地上部分支持和固定、养分和碳水化合物贮存等方面发挥着重要作用。直径相对较小的细根负责养分和水分的吸收。细根生理代谢活跃, 对土壤的反应也较粗根敏感^[1]。同时, 根系是菌根形成的场所, 为地上叶、茎生长及地下其他根系生理代谢提供物质保障^[2]。细根总是处于不断的“产生—生长—衰老—死亡—再产生”的周转过程中, 仅占林分根系总生物量3%~30%的细根在周转中要消耗掉大量的净初级光合产物(NPP), 占其总量的50%~80%, 明显影响光合产物在其他器官中的分配, 从而调节林分生产力^[3-5]。从生态系统角度看, 细根是生态系统中最活跃的组分之一, 其生产和周转是构成生态系统物质循环和能量流动的主体。细根在死亡和分解过程中向土壤中释放大量的营养物质, 是构成生物地球化学循环的重要环节^[6]。细根及其相关生态过程对土壤结构改善、肥力发展及土壤生产力的发挥起着重要的作用, 对揭示林木与环境关系以及对人工林集约经营具有重要意义^[7-8]。笔者主要研究水杉(*Metasequoia glyptostroboides*)细根形态指标的差异及水杉细根的空间分布格局, 测定细根形态指标(包括根直径、长度、比根长、表面积、根序分级等)及生物量分布, 从而反映树木适应环境的能力, 进而说明环境因子对树木生长的影响, 为水杉人工林管理提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 研究区概况 该研究区位于江苏省盐城市境内的东台林场, 地理位置为120°49'E, 32°52'N。东台林场地处黄海之滨, 属亚热带和暖温带的过渡区, 季风显著, 雨量集中, 雨热同季, 常年平均气温为14.6℃, 无霜期为220 d, 降雨量为1 051.0 mm, 年均日照时数为2 169.6 h。供试土壤为脱盐草甸土, 土壤质地为沙质壤土, 土壤偏碱性。主要植被有人工营造的杨树(I-35 杨)、杉木[*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.)]、水杉(*Metasequoia glyptostroboides* Hu et Cheng)、银杏(*Ginkgo biloba* Linn.)、灌木草本有罗布麻(*Apocynum venetum* Linn.)、葎草[*Humulus scandens* (Lour.) Merr.]、野蔷薇(*Rosa multiflora* Thunb.)、蕨类植物等。

试验样地是30a 生水杉人工纯林, 样地面积为20 m×30 m, 株行距5 m×6 m, 平均胸径为19.7 cm, 平均树高为22.8 m。林下主要是以满天星为主的低矮草本。

1.2 研究方法 在固定样地内随机选取3 株水杉树, 在距树干基部0.5、1.0、1.5、2.0、2.5 m 处用内径为7 cm 的根钻由上至下分4 层钻取土芯样品, 每层10 cm (0~10、10~20、20~30 和30~40 cm)。将取出的土芯(土壤与根系)样品放入已编号封口袋, 将样品带回实验室后用40 目(0.42 mm)筛网在流水中冲洗附着在根系上的泥土, 将洗净后的根系低温冷藏保存。按根系直径等级, 将各土层的根系分为4 级(<0.5、0.5~1.0、1.0~1.5、1.5~2.0 mm)。根据外形、颜色、弹性等, 区别死根和活根。将分级之后的根系样品放入烘箱烘干至恒重(70℃, 48 h), 称重。另外, 在野外取样过程中, 同时取每株树完整分枝结构的根系, 带回实验室进行细根形态

基金项目 国家自然科学基金项目(31270489)。

作者简介 曹国华(1965-), 男, 江苏东台人, 工程师, 从事林业应用技术方面的研究。* 通讯作者, 副教授, 从事地下生态学方面的研究。

收稿日期 2015-12-14

分析。依据 Pregitzer 等^[9]提出的根序分级法,将完整根系分成不同根序等级。用 WinRHIZO (Pro 2005b) 根系图像分析系统软件(加拿大 Regent Instruments 公司),测定不同根序细根直径、平均根长、比表面积和比根长。通过 SPSS 对细根形态等数据进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 细根平均直径与根长 由表 1 可知,水杉细根平均直径随着根序级别增加而逐渐增大。水杉细根平均直径从一级根的 0.60 mm 增加到四级根的 1.27 mm,总增幅较明显,二级根比一级根增粗了 20%,三级根比二级根增粗了 29%,

四级根比三级根增粗了 37%,可见变化幅度也是随着细根等级的升高而升高,说明低级根直径变化幅度相对较小,而高级细根直径变异较大。经方差分析,发现一级根与二级根平均直径间不存在差异,而其他各级根序细根直径之间差异显著($P<0.05$)。细根平均根长随根序等级的增加而显著增加,各等级细根平均长度之间差异显著($P<0.05$)。二级、三级和四级根分别是一级根平均根长的 3.87、9.56 和 18.89 倍,同时随根序等级增加。该研究结果与王向荣等^[10]研究结果相一致,但平均长度要大于 Pregitzer 等^[9]研究结果。

表 1 不同根序等级水杉细根的形态特征

Table 1 Morphological characteristics of fine roots of *Metasequoia glyptostroboides* at different orders

根序等级 Root order	平均直径 Average diameter//mm	平均根长 Average root length//cm	比根长 Specific root length//m/g	比表面积 Specific surface area//cm ² /g
一级 First order	0.60±0.07 a	0.61±0.05 a	42.59±3.05 a	792±13.76 a
二级 Second order	0.72±0.13 a	2.36±0.28 b	16.31±2.34 c	372±15.13 b
三级 Third order	0.93±0.17 b	5.83±0.46 c	5.08±1.20 c	148±9.33 c
四级 Fourth order	1.27±0.10 c	11.52±1.13 d	1.27±0.85 d	49±8.64 d

注:同列不同小写字母代表数据间差异在 0.05 水平显著。
Note: Different letters in the same row indicated significant differences at 0.05 level.

2.2 细根比根长与比表面积 由表 1 可知,随着细根根序等级的增加,细根比根长和比表面积在 0.05 水平显著减小,各级根序等级细根比根长与比表面积间差异在 0.05 水平显著。水杉一级根的比根长是二级根的 2.61 倍,二级根是三级根的 3.21 倍,三级根是四级根的 4.00 倍,可见随着根系等级的升高,细根比根长的差异增大。这说明根序等级越高,细根直径越粗,木质化程度越强,细根作为吸收水分和养分的作用就越弱。与比根长变化规律相似,一级根比表面积是二级根的 2.13 倍,二级根是三级根的 2.51 倍,三级根是四级根的 3.02 倍,各级根序之间的变异逐渐增大。

2.3 细根生物量的空间分布 由图 1 可知,随着土层的加深,无论距离树干远近,水杉细根的生物量都随着土壤深度的增加而不断的减少,呈下降趋势,而且细根主要集中在 0~10 cm 和 10~20 cm 土层,其中 0~20 cm 土层的生物量占总生物量的 75.88%,20~30 cm 和 30~40 cm 土层细根生物量较小。细根生物量随着距树干距离的增加总体呈渐降的趋势,但在距树干 1.5 m 处细根生物量有所增加。

2.4 细根形态的空间分布 将距离树干不同距离处的生物量进行细化分析,由图 2 可知,不同距离处细根的形态结构和分布表现出一定的差异性。总的来说,在 0~10 和 10~20 cm 土层中,直径<0.5 和 0.5~1.0 mm 的细根生物量要多于较大直径等级细根,而 20~40 cm 土层中,以 1.0~1.5 和 1.5~2.0 mm 直径等级的细根占有优势。这表明由于土层深度和水平距离的不同,细根的形态也表现出不同的特点。

3 结论与讨论

3.1 讨论 不同树种细根的形态结构具有明显的差异,而同一树种不同分枝等级的细根也具有明显不同的形态,如细根直径、长度、比根长和比表面积等。研究表明,随着细根根

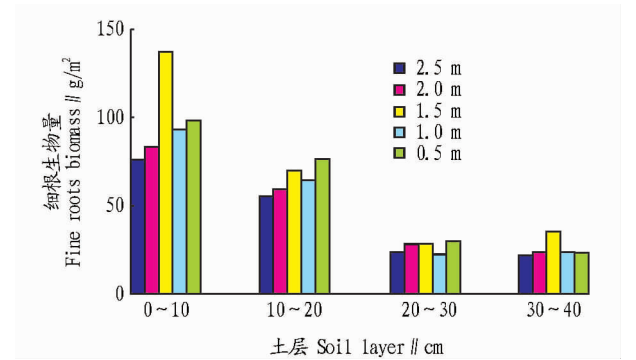


图 1 细根生物量的空间分布

Fig.1 Spatial distribution of fine roots biomass

序等级的增加,水杉细根平均直径和平均根长表现为逐渐增加的趋势。这与王向荣等^[10]研究结果相一致,但平均长度要大于 Pregitzer 等^[9]研究结果。同时,一级细根的比根长和比表面积要远大于高级根。这与梅莉等^[11]研究结果相似。同时,在不同地点生长的不同植物根系在形态上存在明显的差异,其原因一是由不同树种遗传特性所决定的,二是受不同立地环境条件的影响。

研究还表明,水杉细根主要集中在距树干 1.5 m 范围内。这与通常所理解的树木细根主要集中在距树干 0.5~1.0 m 范围内的理解有所偏差。这可能与树木生长状况有关。笔者所研究的是 30a 生水杉人工纯林,树木高大,根系扩展范围较大,距离树干近处被粗根占据,导致在 1.5 m 左右的细根生物量最多。不同树种的细根垂直分布虽然不尽相同,但一个共同的特点是随着深度的增加而细根减少^[12]。该研究也验证了这一点,即随着土层深度的增加细根生物量呈现递减趋势。Hendricks 等^[3]认为,土壤空间异质性是导致根系分布空间异质性的主要原因。根系对土壤空间异质

性的基本反应是调整生物量和根长密度,这是根系适应土壤空间异质性的策略,也是引起细根生物量和根长密度垂直分布差异的主要原因。另外,土壤表层以小直径细根为主,而土壤深层以大直径细根为主,这些变化可能与细根对水分和

养分的吸收有密切关系,即土壤表层养分含量通常要高于深层土壤。为了更多地吸收养分和水分,植物通常将较细的吸收根分布在表层土壤中,这也说明细根具有一定的可塑性,因环境变化而改变其生理生态结构^[13-14]。

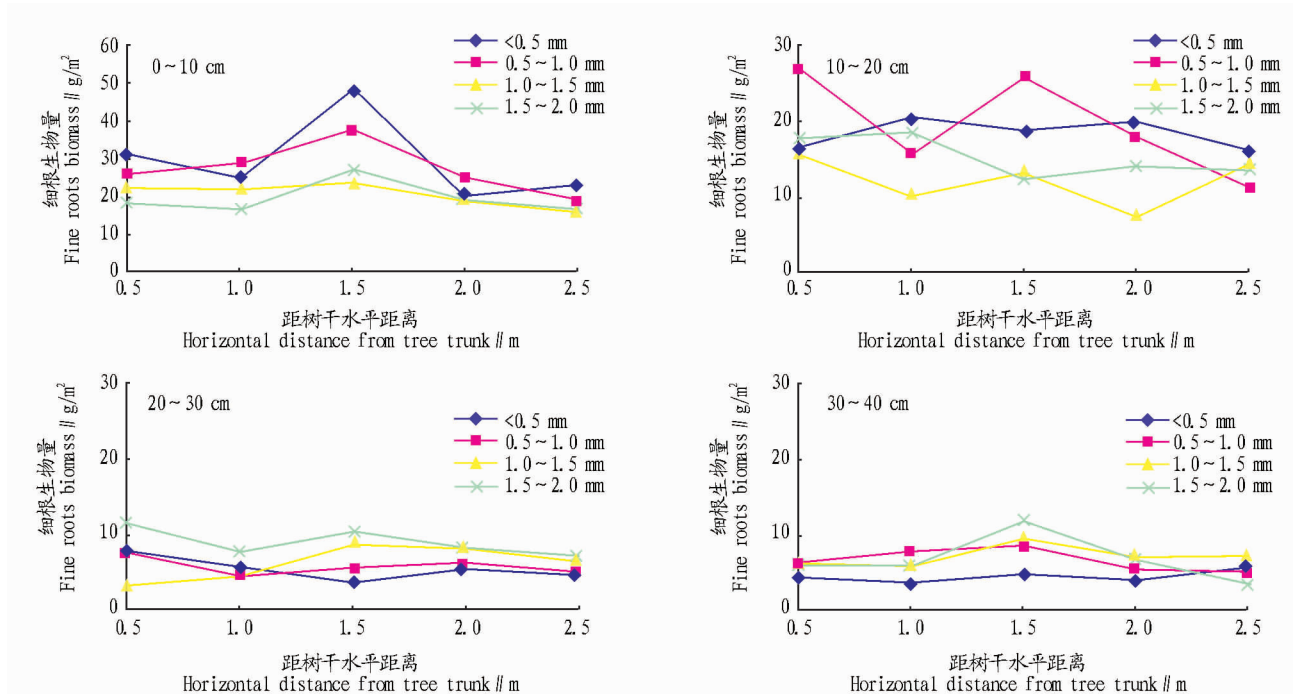


图 2 不同直径等级细根的空间分布规律

Fig. 2 Spatial distribution laws of fine roots with different diameters

3.2 结论 笔者研究了水杉人工林细根形态和生物量分布特征,发现随着细根根序等级的增加,水杉细根平均直径和平均根长表现为逐渐增加的趋势;一级细根的比根长和比表面积要远大于高级根;水杉细根主要集中在距树干 1.5 m 范围内;在垂直分布上,随着土层深度的增加,细根的分布越来越少,绝大部分的细根分布在 0~20 cm 土层;表层以小直径细根为主,而土壤深层以大直径细根为主。

参考文献

- [1] EISSENSTAT D M, YANAI R D. The ecology of root lifespan[J]. *Advances in ecological research*, 1997, 27: 1-60.
- [2] 贺金生, 王政权, 方精云. 全球变化下的地下生态学: 问题与展望[J]. *科学通报*, 2004, 49(13): 1226-1233.
- [3] JACKSON R B, CANADELL J R, MOONEY H A, et al. A global analysis of root distribution for terrestrial biomass[J]. *Oecologia*, 1996, 108(3): 389-411.
- [4] WENDY S, GORDON J. Nutrient concentrations in fine roots[J]. *Ecology*, 2000, 81(1): 275-280.
- [5] 王政权, 郭大立. 根系生态学[J]. *植物生态学报*, 2008, 32(6): 1213-

- 1216.
- [6] GILL R A, JACKSON R B. Global patterns of root turnover for terrestrial ecosystems[J]. *New phytologist*, 2000, 147(1): 13-31.
- [7] 史建伟, 王孟本, 于立忠, 等. 土壤有效氮及其相关因素对植物细根的影响[J]. *生态学杂志*, 2007, 26(10): 1634-1639.
- [8] 张小全. 环境因子对树木细根生物量、生产与周转的影响[J]. *林业科学研究*, 2001, 14(5): 566-573.
- [9] 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.
- [10] 王向荣, 谷加存, 梅莉, 等. 水曲柳和落叶松细根形态及母根与子根比例关系研究[J]. *生态学报*, 2006(6): 1686-1692.
- [11] 梅莉, 王政权, 韩有志, 等. 水曲柳根系生物量、比根长和根长密度的分布格局[J]. *应用生态学报*, 2006, 17(1): 1-4.
- [12] 史建伟, 王孟本, 陈建文, 等. 柠条细根的分布和动态及其与土壤资源有效性的关系[J]. *生态学报*, 2011, 31(14): 3990-3998.
- [13] HENDRICKS J J, ABER J D, NADELHOFFER K J, et al. Nitrogen controls on fine root substrate quality in temperate forest ecosystems[J]. *Ecosystems*, 2000, 3(1): 57-69.
- [14] 王庆成, 程云环. 土壤养分空间异质性与植物根系的觅食反应[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(6): 1063-1068.