生态环境学报 2016, 25(2): 183-188
Ecology and Environmental Sciences
http://www.jeesci.com
E-mail: editor@jeesci.com

植被因子和土壤氮对南亚热带常绿阔叶次生林细根生物量的影响

徐伟强，周璋，李意德*，李健容，张霞，徐大平

中国林业科学研究院热带林业研究所//海南尖峰岭森林生态系统国家野外科学观测研究站//国家林业局森林碳汇研究与实验中心，广东 广州 510520

摘要：森林细根生物量与乔木层胸高断面积关系，以及在高大气 N 沉降背景下细根对土壤氮的响应程度，目前仍不明确。本研究选择广州市受保护 40 a 左右的南亚热带常绿阔叶次生林为研究对象，在全市范围内设置了 48 个森林样地，开展乔木层、灌草层、细根（直径≤2 mm）、土壤 C 含量和 N 含量的调查，研究乔木胸高断面积、乔木密度、灌草层生物量、土壤 N 含量、土壤单位碳的 N 含量与细根生物量之间的关系，探讨地上植被因子和土壤 N 对细根生物量的影响。结果表明，（1）土壤表层（0~20 cm）和土壤下层（20~40 cm）细根生物量与乔木层总胸高断面积均不相关，但与胸径 30 cm 以上乔木的胸高断面积所占比例负相关。（2）表层细根生物量与灌草层生物量不相关，下层细根生物量与灌草层生物量负相关。（3）除了表层细根生物量与相应土层土壤 N 含量不相关外，下层细根生物量与相应土层土壤 N 含量，以及表层和下层细根生物量与相应土层单位碳的 N 含量均负相关。研究表明，对于林木胸径组成差异大的南亚热带常绿阔叶次生林，对细根生物量产生影响的是胸径 30 cm 以上乔木的胸高断面积所占全部乔木总胸高断面积比例，而不是乔木层总胸高断面积。细根生物量与土壤 N 含量负相关，表明即使在高大气 N 沉降背景下，南亚热带常绿阔叶次生林的森林植被仍对土壤 N 存在响应。

关键词：细根；乔木层胸高断面积；氮沉降；南亚热带；常绿阔叶林

DOI: 10.16258/j.cnki.1674-5906.2016.02.001

中图分类号：Q948; X17　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1674-5906（2016）02-0183-06

引用格式：徐伟强, 周璋, 李意德, 李健容, 张霞, 徐大平. 植被因子和土壤氮对南亚热带常绿阔叶次生林细根生物量的影响[J]. 生态环境学报, 2016, 25(2): 183-188.

XU Weiqiang, ZHOU Zhang, LI Yide, LI Jianrong, ZHANG Xia, XU Daping. Effects of Stand Vegetation Factors and Soil Nitrogen on Fine Root Biomass in Evergreen Broad-leaved Secondary Forests in Lower Subtropical China [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2016, 25(2): 183-188.

细根是森林植物和土壤物质流通的重要纽带，一方面植物通过细根来吸收水分和养分，另一方面细根对土壤有机碳和养分动态具有重要作用（Clemmensen et al.，2013；Xu et al.，2013；裴智琴等，2011）。通常认为细根的生长和分布受林地植被因子（例如乔木断面积、乔木密度、林下植被等）和土壤因子（例如水分、养分）共同作用（Yuan et al.，2010；Finér et al.，2011；史建伟等，2007），然而，其具体的影响机制仍不明确（Lehtonen et al.，2016）。大多数研究表明，森林细根生物量与乔木总断面积存在正相关关系（Lehtonen et al.，2016），但也有研究表明这种关系并不普遍（Helmisaari et al.，2007；Sun et al.，2015）。森林乔木层包括不同胸径大小的林木，通常认为大乔木和较小乔木对土壤水分和养分的需求存在差异，由此推断，即使乔木层总断面积相同的森林，因林木胸径大小组成不同（这在天然林普遍存在），其细根的生物量可能相差较大。

氮（N）是植物生长必需的大量元素之一。研究表明，当土壤 N 缺乏，通常会促进细根的生长（即土壤 N 与细根生物量负相关）（Helmisaari et al.，2007），然而，在高大气 N 沉降的背景下，是否意味着细根生长对土壤 N 缺乏响应，目前这方面研究较少。广州是我国高大气 N 沉降地区之一（Li et al.，2012），该地区属于南亚热带，分布着受保护 40 a 左右的天然常绿阔叶次生林，这为研究在土壤 N 丰富背景下森林细根与 N 关系提供了条件。基于以上分析，本研究选取位于广州市的常绿阔叶次生林为对象，开展乔木层、灌草层（林下植被层）、细根（两个土层：0~20 和 20~40 cm）、土壤 C 含量和 N

基金项目：广州市林业和园林局重点科技项目“广州市森林碳汇计量与监测研究（2013-2016）”

作者简介：徐伟强（1981 年生），男，博士，研究方向为生态系统生态学。E-mail: weiqxu@126.com

*通信作者。李意德，E-mail: liyide@126.com

收稿日期：2016-01-02

含量的调查，研究乔木胸高断面积、乔木密度、灌草层生物量、土壤 N 含量、土壤单位碳的 N 含量（N/C 比）与细根生物量之间的关系。本研究提出两个假设：（1）对于林木胸径大小组成差异大的常绿阔叶次生林，其细根生物量可能不受乔木总胸高断面积的影响，而取决于大乔木胸高断面积占全部乔木的比例；（2）在高大气 N 沉降的背景下，细根生长对土壤 N 可能缺乏响应。

1 研究区概况

研究地位于广东省中南部、珠江三角洲北缘的广州市，属于南亚热带季风海洋性气候，年平均气温约为 21.7 ℃，年降雨量约为 1 700 mm，其中 4—9 月的降水量约占全年降水量的 80%，平均相对湿度为 77%。地带性典型植被为南亚热带常绿阔叶林。由于人类活动的干扰和破坏，本区的常绿阔叶原始林现存面积极少，绝大多数是常绿阔叶次生林。经过近 40 a 的生态公益林保护，一些受破坏的次生林的森林结构和群落组成得到更新和恢复，并接近于地带性典型常绿阔叶林。

2 研究方法

2.1 样地设置和野外调查

选取广州全市范围内受保护的常绿阔叶次生林(主要在从化区)布置了 48 个样地，分别于 2014 年和 2015 年上半年开展野外调查和样品采集工作。样地设置规格为 40 m×30 m，少数样地为 30 m×30 m。根据调查结果，所选的次生林群落类型在我国南亚热带地区分布均比较普遍，大多数为以木荷（*Schima superba*）、锥栗（*Castanea henryi*）、华润楠（*Machilus chinensis*）或红锥（*Castanopsis hystrix*）为重要组成树种的南亚热带典型群落类型。调查样地土壤类型大多为红壤，极少数为黄壤。开展调查时，每一样地再划分为 10 m×10 m 的样方进行乔木每木检尺，例如 40 m×30 m 样地将划分为 12 个 10 m×10 m。乔木起测胸径为 3 cm，测量和记录指标包括树种名、胸径、树高、冠幅、枝下高和存活状态。在每一样地沿对角线设置 3 个 2 m×2 m 灌木层调查样方，灌木层包括植株高 1.5 m 以上、胸径<3.0 cm 的乔木幼树和灌木。在每一灌木层调查样方内设置一个 1 m×1 m 草本层调查样方，草本层包括草本和植株高 1.3 m 以下的乔灌木幼苗。灌木层和草本层采用全收割法测量其鲜重，并取样品带回室内进行干重测定。细根（直径≤2 mm）调查采用土钻法，利用内径为 5.5 cm 的土钻，在每个样地随机采集 4~8 钻土混合，挑选 0 ~ 20 cm 和 20 ~ 40 cm 土层的细根。土壤 N、C 样品采用挖剖面和土钻法相结合，采集 0~10、10~20、20~30、30~50、50~100 cm 5 个层次的土壤。因受客观条件限制，土壤 N、C 样品采集土层与细根生物量调查土层没有完全一致，本文在探讨土壤表层（0~20 cm）和下层（20~40 cm）细根生物量与相应层次土壤 N、C 含量的关系中，将土层 0~10 和 20~30 cm 土壤 N、C 含量分别代表表层 0~20 cm 和下层 20~40 cm。这样处理不可避免会产生一些误差，但我们认为这是可以接受的，因为本文目的是探讨表层和下层土壤 N、C 含量与细根生物量之间的关系，而 0~10 和 20~30 cm 两层之间土壤 N、C 含量的差异程度近似于表层 0~20 cm 和下层 20~40 cm 之间。

2.2 实验室分析

带回实验室的细根样品，用自来水清洗，将附着的泥土去除以待烘干。所有种类植物样品均在 65 ℃烘箱内烘干到恒重（至少 24 h），然后测量其干重，得出干重率。土壤 C、N 含量（全 C、全 N）利用“燃烧-气相色谱”元素分析仪器测定（德国 Elementar 公司的 vario Macro cube 系统）。

2.3 数据分析

灌木层、草本层、细根生物量为其单位面积鲜重乘以干重率得出。在进行样地乔木胸高断面积和乔木株数整理时，由于调查样地坡度存在差异，因此本研究将每一样地面积统一换算为 1 000 m^2 的样地垂直投影面积。在进行数据分析时，灌木层和草本层相加为灌草层，即林下植被层。

采用简单直线方程对次生林 48 个样地的细根生物量与样地乔木总胸高断面积、胸径 30 cm 以上乔木胸高断面积比例、乔木株数（密度）之间关系、灌草层生物量之间关系、土壤 N 含量、单位碳的 N 含量（N/C）之间的关系进行拟合。P<0.05 为差异显著水平。线性相关分析和作图采用 SigmaPlot 10.0 软件。

3 结果与分析

3.1 细根生物量与乔木胸高断面积和株数关系

由图 1 看出，在细根生物量与乔木胸高断面积、株数关系上，土壤表层（0~20 cm）和土壤下层（20~40 cm）表现相同。其中，两土层细根生物量均与乔木层总胸高断面积线性不相关，而与胸径 30 cm 以上乔木的胸高断面积所占比例呈显著的线性负相关。此外，两土层细根生物量均与乔木株数(密度）呈显著的线性正相关。

3.2 细根生物量与灌草层生物量的关系

土壤表层的细根生物量与灌草层生物量不相关，然而，土壤下层细根生物量与灌草层生物量呈显著的线性负相关（图 2）。

3.3 细根生物量与土壤 N 含量关系

由图 3 看出，土壤表层细根生物量与相应土层

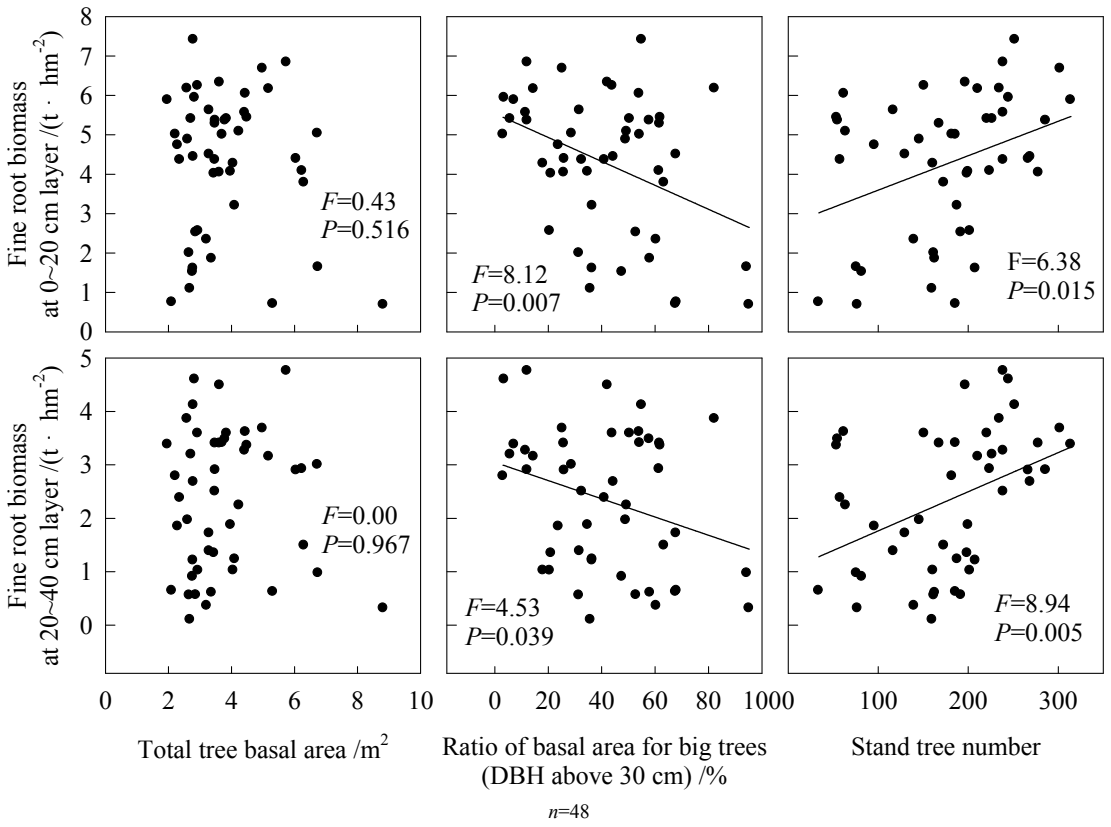


图 1　细根生物量与乔木总胸高断面积、胸径 30 cm 以上乔木胸高断面积比例、乔木株数的关系

Fig. 1　Relationships of fine root biomass with basal area at breast height of all trees (left), the ratio of basal area for big trees (diameter at breast height, DBH ≥ 30 cm) (middle), and tree number (right) in 1 000 m^2 projected area

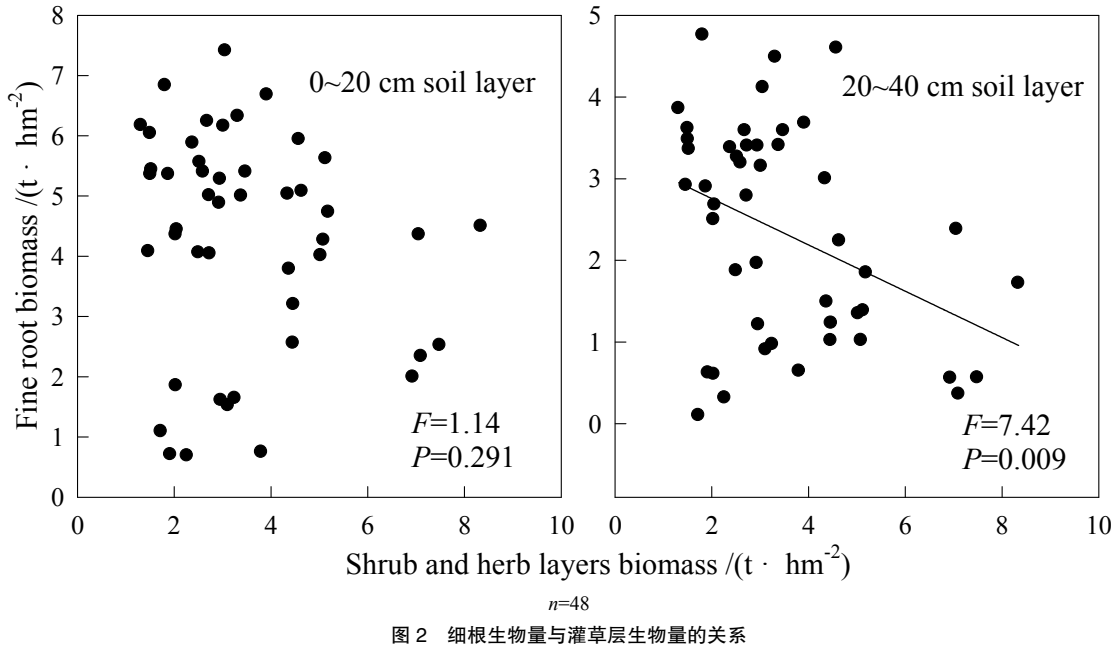


图 2　细根生物量与灌草层生物量的关系

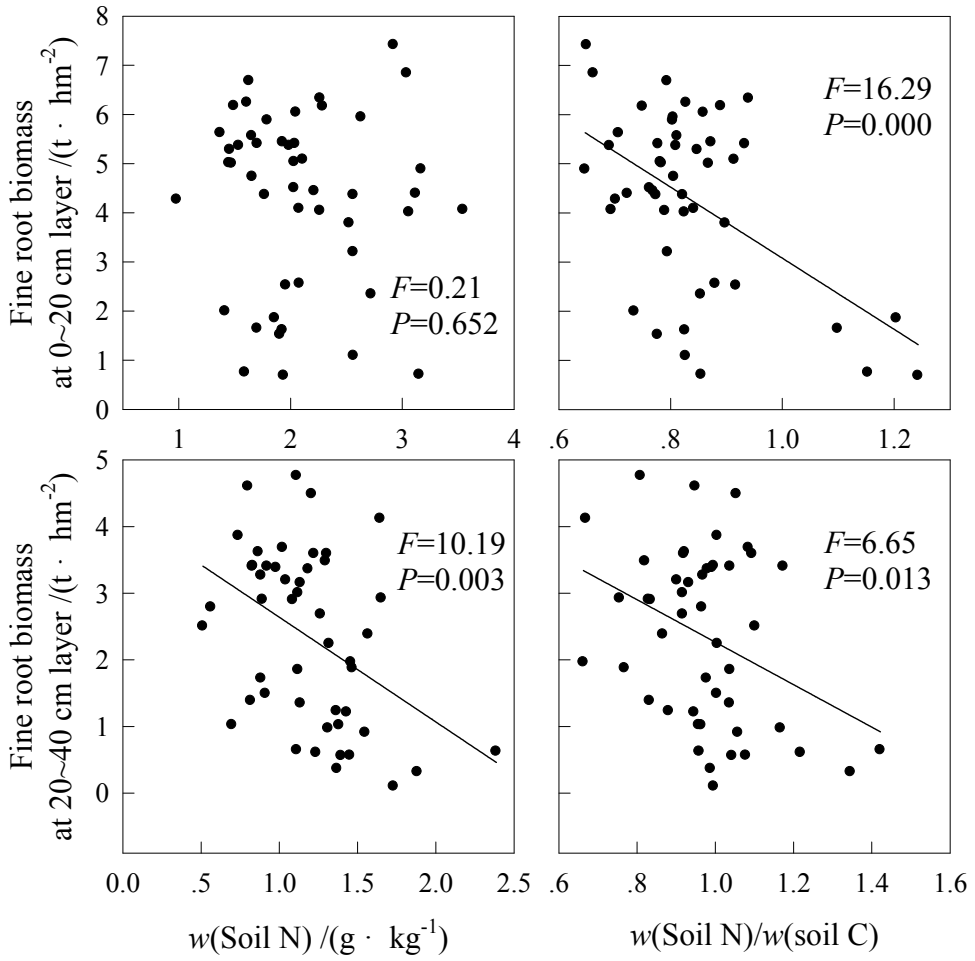
Fig. 2　Relationship between fine root biomass and shrub and herb layers biomass

（0~10 cm）N 含量不相关，然而土壤下层细根生物量与相应土层（20~30 cm）呈显著的线性负相关。此外，土壤表层和下层细根生物量均与相应土层单位碳的 N 含量（N/C）呈显著的线性负相关。

4　讨论

4.1　植被因子对常绿阔叶次生林细根生物量的影响

细根作为植物和土壤物质循环的纽带，在森林



n=48

图 3 不同土层细根生物量与相应土层土壤 N 含量、土壤 N/C 的关系

Fig. 3 Relationship of fine root biomass with soil total N concentration and N/C ratios in different soil layers

生态系统内部中，细根生长通常受到乔木、林下植被等因子的调控。有研究表明，森林生态系统细根生物量与乔木总胸高断面积存在一定正相关关系（Lehtonen et al.，2016），即森林乔木层生物量（近似于乔木层总胸高断面积）的增大通常伴随着细根生物量的增加。细根是地上植被吸收水分和养分的主要纽带，因此通常认为地上植被生物量越大，其对水分和养分需求就越多，需要更多的细根来保证资源供给。然而，Helmisaari et al.（2007）和 Sun et al.（2015）研究表明，这种正相关的关系并不一定存在。本研究结果显示，在南亚热带常绿阔叶次生林内部，乔木层总胸高断面积对 0~20 和 20~40 cm 土层的细根生物量均没有影响，但是大乔木（本研究指胸径 30 cm 以上乔木，主要考虑 30 cm 以上乔木在这些常绿阔叶次生林通常存在）胸高断面积所占比例和乔木株数（密度）对两个土层细根生物量均影响显著（图 1）。这一结果验证了本研究提出的第一个假设，即对于林木胸径组成差异大的常绿阔叶次生林，其细根生物量的大小，与总胸高断面积（近似为乔木总生物量）的大小无关，而取决于大乔木和较小乔木的相对比例。大乔木越多，小乔木越少，可能使得总株数也少，这样细根生物量就低（基于株数与细根生物量的关系）；另外，大乔木越多，其根系越深，一部分细根可能分布在更深层次的土壤中，而本研究仅关注 0~40 cm 深的土壤细根生物量。

通常认为，林下植被对细根生物量存在不同程度的贡献，具有一定正效应，这在温带和寒带的森林细根生物量研究中已得到普遍证实，但对热带森林还不清楚（Finér et al.，2011）。本研究结果显示，南亚热带常绿阔叶次生林其林下植被层（灌草层）生物量对 0~20 cm 土层的细根生物量没有影响，但对 20~40 cm 土层的细根生物量为负效应（图 2）。缺乏正效应的原因可能是本研究森林细根生物量

主要来源于乔木层林木（即受乔木层调控，图 1），因为对处于近成熟阶段的常绿阔叶次生林，林下植被通常分布较少，这可能导致其对细根贡献较小。具体原因仍有待进一步研究。

4.2 土壤 N 对常绿阔叶次生林细根生物量的影响

氮是植物生长必需的大量元素之一。植物向下输送光合产物供给细根，以维持细根的生长和功能的发挥，换取细根从土壤中吸收的养分和水分。在土壤其它资源（P、水分等）供应充足，并且植物对 N 需求稳定的前提下，则细根生长与土壤 N 含量通常存在一定的负相关关系，即土壤氮含量的增加可能会抑制细根的生长（Helmisaari et al.，2007；Kalliokoski et al.，2010；于立忠等，2007）。本研究结果显示，除了表层（0~20 cm）细根生物量与相应土层土壤 N 含量关系不显著外，下层（20~40 cm）细根生物量与相应土层土壤 N 含量，以及表层和下层细根生物量与相应土层单位碳的 N 含量（N/C）均存在显著负相关（图 3）。这一结果否定了本研究提出的第二个假设，推测在广州高大气 N 沉降背景下的南亚热带地区（Li et al.，2012），成熟的森林生态系统更易受到 P 限制（Liu et al.，2012；Huang et al.，2013），但是森林植物仍对土壤 N 存在响应。潜在原因可能是土壤 N 的增加改变了生态系统 P 的循环（Marklein et al.，2012），有利于缓解植物 P 限制（Liu et al.，2013），使植物对土壤 N 产生响应。

5 结论

本研究探讨了我国南亚热带地区常绿阔叶次生林细根生物量与乔木层、灌草层、土壤 N 的关系，这些结果加深了森林生态系统内部植被因子和土壤 N 对细根生长影响的理解。研究表明，对于林木胸径组成差异大的南亚热带常绿阔叶次生林，对细根生物量产生影响的是胸径 30 cm 以上乔木的胸高断面积所占全部乔木总胸高断面积比例，而不是乔木层总胸高断面积。细根生物量与土壤 N 含量呈负相关，表明即使在高大气 N 沉降背景下，南亚热带常绿阔叶次生林的森林植被仍对土壤 N 存在响应。

致谢：本研究为广州市林业和园林局、财政局“广州市森林碳汇计量与监测研究”的一部分内容；感谢中国科学院华南植物园温达志教授研究团队、华南农业大学林学院苏志尧教授研究团队、中国林科院热带林业研究所赵厚本博士研究团队及海南尖峰岭森林生态系统国家野外科学观测研究站的研究人员、学生在样地野外调查、样品采集和分析处理等方面提供的大力帮助。

参考文献：

CLEMMENSEN K E, BAHR A, OVASKAINEN O, et al. 2013. Roots and associated fungi drive long-term carbon sequestration in boreal forest [J]. Science, 339(6127): 1615-1618.

FINÉR L, OHASHI M, NOGUCHI K, et al. 2011. Factors causing variation in fine root biomass in forest ecosystems. Forest Ecology and Management [J]. 261(2): 265-277.

HELMISAARI H-S, DEROME J, NÖJD P, et al. 2007. Fine root biomass in relation to site and stand characteristics in Norway spruce and Scots pine stands [J]. Tree Physiology, 27(10): 1493-1504.

HUANG W J, LIU J X, WANG Y P, et al. 2013. Increasing phosphorus limitation along three successional forests in southern China [J]. Plant and Soil, 364(1-2): 181-191.

KALLIOKOSKI T, PENNANEN T, NYGREN P, et al. 2010. Belowground interspecific competition in mixed boreal forests: Fine root and ectomycorrhiza characteristics along stand developmental stage and soil fertility gradients [J]. Plant and Soil, 330(1): 73-89.

LEHTONEN A, PALVIAINEN M, OJANEN P, et al. 2016. Modelling fine root biomass of boreal tree stands using site and stand variables [J]. Forest Ecology and Management, 359: 361-369.

LI J, FANG Y, YOH M, et al. 2012. Organic nitrogen deposition in precipitation in metropolitan Guangzhou city of southern China [J]. Atmospheric Research, 113: 57-67.

LIU J X, HUANG W J, ZHOU G Y, et al. 2013. Nitrogen to phosphorus ratios of tree species in response to elevated carbon dioxide and nitrogen addition in subtropical forests [J]. Global Change Biology, 19(1): 208-216.

LIU L, GUNDERSEN P, ZHANG T, et al. 2012. Effects of phosphorus addition on soil microbial biomass and community composition in three forest types in tropical China [J]. Soil Biology and Biochemistry, 44(1): 31-38.

MARKLEIN A R and HOULTON B Z. 2012. Nitrogen inputs accelerate phosphorus cycling rates across a wide variety of terrestrial ecosystems [J]. New Phytologist, 193(3): 696-704.

SUN T, DONG L, MAO Z, et al. 2015. Fine root dynamics of trees and understory vegetation in a chronosequence of *betula platyphylla* stands [J]. Forest Ecology and Management, 346: 1-9.

XU W Q, LIU J X, LIU X Z, et al. 2013. Fine root production, turnover, and decomposition in a fast-growth *eucalyptus urophylla* plantation in southern China [J]. Journal of Soils and Sediments, 13(7): 1150-1160.

YUAN Z Y and CHEN H Y H. 2010. Fine root biomass, production, turnover rates, and nutrient contents in boreal forest ecosystems in relation to species, climate, fertility, and stand age: Literature review and meta-analyses [J]. Critical Reviews in Plant Sciences, 29(4): 204-221.

裴智琴, 周勇, 郑元润, 等. 2011. 干旱区琵琶柴群落细根周转对土壤有机碳循环的贡献[J]. 植物生态学报, 35(11): 1182-1191.

史建伟, 王政权, 于水强, 等. 2007. 落叶松和水曲柳人工林细根生长、死亡和周转[J]. 植物生态学报, 31(2): 333-342.

于立忠, 丁国泉, 朱教君, 等. 2007. 施肥对日本落叶松人工林细根生物量的影响[J]. 应用生态学报, 18(4): 713-720.

Effects of Stand Vegetation Factors and Soil Nitrogen on Fine Root Biomass in Evergreen Broad-leaved Secondary Forests in Lower Subtropical China

XU Weiqiang, ZHOU Zhang, LI Yide, LI Jianrong, ZHANG Xia, XU Daping

Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, China

Abstract: The relationship between fine root biomass and tree basal area at breast height, and how fine roots would respond to soil nitrogen (N) in the forests with high atmospheric N deposition both are still not clear. Therefore, a study on the relationships of fine root biomass with total tree basal area at breast height, the ratio of basal area for big trees (diameter at breast height, DBH ≥ 30 cm) to total trees, tree density, understory biomass, soil nitrogen concentration, and soil N/C ratio was conducted in lower subtropical evergreen broad-leaved secondary forests in Guangzhou. Forty-eight forest plots with mostly 1 200 m^2 area were set up and investigated. These forests, called ecological forests, were protected from commercial use and human disturbance for about 40 years. This study was aim to estimate the effects of the stand vegetation factors and soil N on fine root biomass. Our results showed that: (1) Both of fine root biomass in 0~20 cm (topsoil) and 20~40 cm soil layers (subsoil) were not correlated to total tree basal area at breast height, but were negatively correlated to the ratio of basal area for big trees to total trees. (2) The correlation between fine root biomass and understory biomass was not significant in topsoil, but was negatively significant in subsoil. (3) The correlations between fine root biomass in each soil layers and the according soil N concentration or N concentration per unit carbon concentration (N/C ratio) were negatively significant, except that for fine root biomass in topsoil and soil N concentration. These results indicated that the ratio of basal area for big trees (DBH ≥ 30 cm) to total trees rather than the total tree basal area affect fine root biomass in these secondary forests with large different tree DBH composition. The negative correlations between fine root biomass and soil N concentration indicate that forest plants still respond to soil N even in these evergreen broad-leaved forests in lower subtropical China with high atmospheric N deposition.

Key words: fine roots; tree basal area at breast height; nitrogen deposition; lower subtropical; evergreen broad-leaved forest