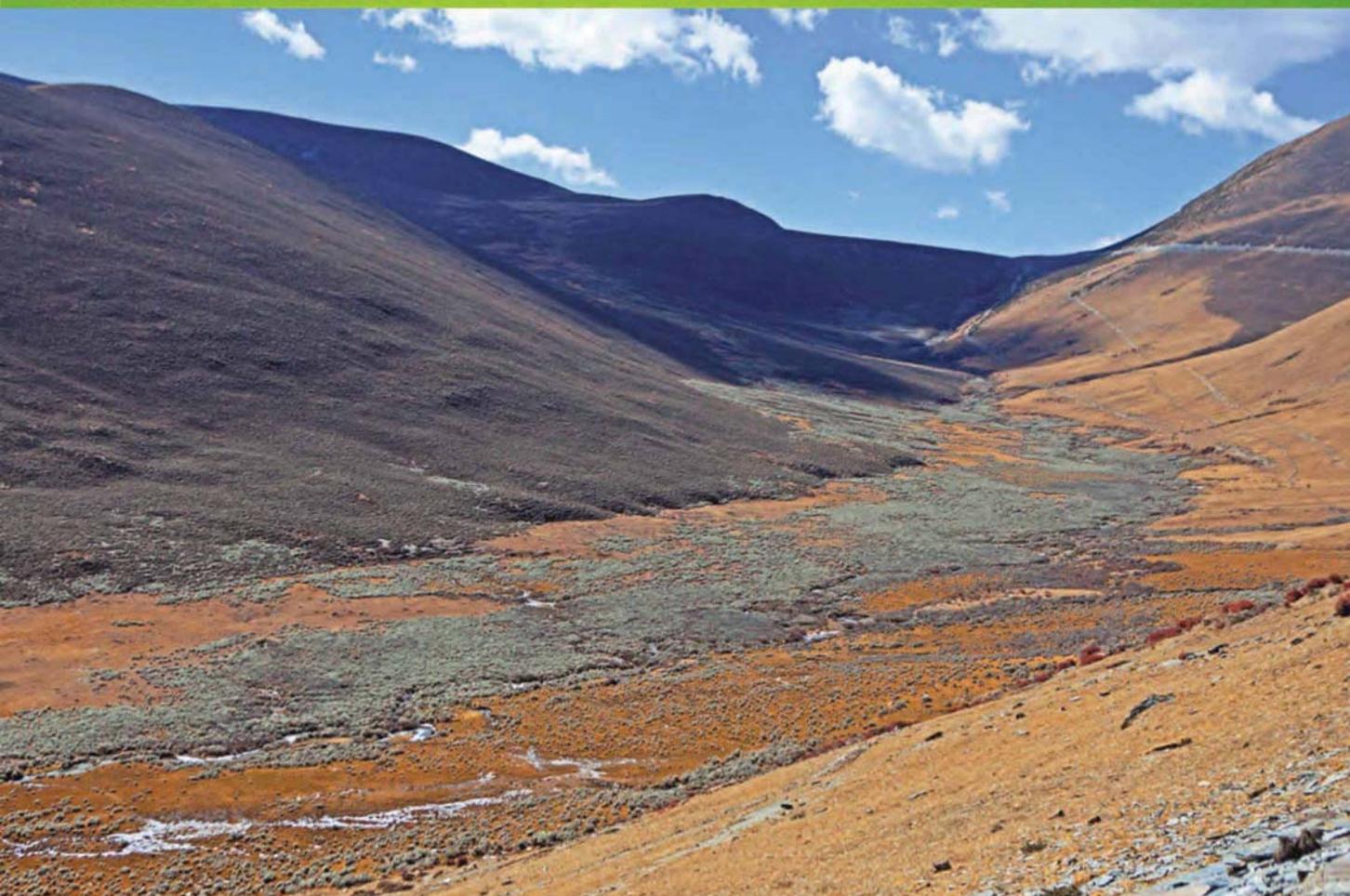


ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica

中国生态学会 2013 年学术年会专辑



第 33 卷 第 18 期 Vol.33 No.18 **2013**

中国生态学会  
中国科学院生态环境研究中心  
科学出版社

主办  
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

# 生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 18 期      2013 年 9 月 (半月刊)

## 目 次

### 中国生态学会 2013 年学术年会专辑 卷首语

美国农业生态学发展综述 .....	黄国勤, Patrick E. McCullough (5449)
水足迹研究进展 .....	马 晶, 彭 建 (5458)
江西省主要作物(稻、棉、油)生态经济系统综合分析评价 .....	孙卫民, 欧一智, 黄国勤 (5467)
植物干旱胁迫下水分代谢、碳饥饿与死亡机理 .....	董 蕾, 李吉跃 (5477)
生态化学计量学特征及其应用研究进展 .....	曾冬萍, 蒋利玲, 曾从盛, 等 (5484)
三峡库区紫色土植被恢复过程的土壤团粒组成及分形特征 .....	王轶浩, 耿养会, 黄仲华 (5493)
城市不同地表覆盖类型对土壤呼吸的影响 .....	付芝红, 呼延佼奇, 李 锋, 等 (5500)
华南地区 3 种具有不同入侵性的近缘植物对低温胁迫的敏感性 .....	王宇涛, 李春妹, 李韶山 (5509)
沙丘稀有种准噶尔无叶豆花部综合特征与传粉适应性 .....	施 翔, 刘会良, 张道远, 等 (5516)
水浮莲对水稻竞争效应、产量与土壤养分的影响 .....	申时才, 徐高峰, 张付斗, 等 (5523)
珍稀药用植物白及光合与蒸腾生理生态及抗旱特性 .....	吴明开, 刘 海, 沈志君, 等 (5531)
不同温度及二氧化碳浓度下培养的龙须菜光合生理特性对阳光紫外辐射的响应 .....	杨雨玲, 李 伟, 陈伟洲, 等 (5538)
土壤氧气可获得性对双季稻田温室气体排放通量的影响 .....	秦晓波, 李玉娥, 万运帆, 等 (5546)
免耕稻田氮肥运筹对土壤 NH <sub>3</sub> 挥发及氮肥利用率的影响 .....	马玉华, 刘 兵, 张枝盛, 等 (5556)
香梨两种树形净光合速率特征及影响因素 .....	孙桂丽, 徐 敏, 李 疆, 等 (5565)
沙埋对沙米幼苗生长、存活及光合蒸腾特性的影响 .....	赵哈林, 曲 浩, 周瑞莲, 等 (5574)
半干旱区旱地春小麦全膜覆土穴播对土壤水热效应及产量的影响 .....	王红丽, 宋尚有, 张绪成, 等 (5580)
基于 Le Bissonnais 法的石漠化区桑树地埂土壤团聚体稳定性研究 .....	汪三树, 黄先智, 史东梅, 等 (5589)
不同施肥对雷竹林径流及渗漏水中氮形态流失的影响 .....	陈裴裴, 吴家森, 郑小龙, 等 (5599)
黄土丘陵区不同植被土壤氮素转化微生物生理群特征及差异 .....	邢肖毅, 黄懿梅, 安韶山, 等 (5608)
黄土丘陵区植被类型对土壤微生物量碳氮磷的影响 .....	赵 彤, 闫 浩, 蒋跃利, 等 (5615)
林地覆盖对雷竹林土壤微生物特征及其与土壤养分制约性关系的影响 .....	郭子武, 俞文仙, 陈双林, 等 (5623)
降雨对草地土壤呼吸季节变异性的影响 .....	王 旭, 闫玉春, 闫瑞瑞, 等 (5631)
基于土芯法的亚热带常绿阔叶林细根空间变异与取样数量估计 .....	黄超超, 黄锦学, 熊德成, 等 (5636)
4 种高大树木的叶片性状及 WUE 随树高的变化 .....	何春霞, 李吉跃, 孟 平, 等 (5644)
干旱荒漠区银白杨树干液流动态 .....	张 俊, 李晓飞, 李建贵, 等 (5655)
模拟增温和不同凋落物基质质量对凋落物分解速率的影响 .....	刘瑞鹏, 毛子军, 李兴欢, 等 (5661)
金沙江干热河谷植物叶片元素含量在地表凋落物周转中的作用 .....	闫帮国, 纪中华, 何光熊, 等 (5668)
温带 12 个树种新老树枝非结构性碳水化合物浓度比较 .....	张海燕, 王传宽, 王兴昌 (5675)
断根结合生长素和钾肥施用对烤烟生长及糖碱比、有机钾指数的影响 .....	吴彦辉, 薛立新, 许自成, 等 (5686)
光周期和高脂食物对雌性高山姬鼠能量代谢和产热的影响 .....	高文荣, 朱万龙, 孟丽华, 等 (5696)
绿原酸对凡纳滨对虾抗氧化系统及抗低盐度胁迫的影响 .....	王 芸, 李 正, 李 健, 等 (5704)

基于盐分梯度的荒漠植物多样性与群落、种间联接响应 .....	张雪妮, 吕光辉, 杨晓东, 等 (5714)
广西马山岩溶植被年龄序列的群落特征 .....	温远光, 雷丽群, 朱宏光, 等 (5723)
戴云山黄山松群落与环境的关联 .....	刘金福, 朱德煌, 兰思仁, 等 (5731)
四川盆地亚热带常绿阔叶林不同物候期凋落物分解与土壤动物群落结构的关系 .....	王文君, 杨万勤, 谭波, 等 (5737)
中亚热带常绿阔叶林不同演替阶段土壤活性有机碳含量及季节动态 .....	范跃新, 杨玉盛, 杨智杰, 等 (5751)
塔克拉玛干沙漠腹地人工植被及土壤 C N P 的化学计量特征 .....	李从娟, 雷加强, 徐新文, 等 (5760)
鄱阳湖小天鹅越冬种群数量与行为学特征 .....	戴年华, 邵明勤, 蒋丽红, 等 (5768)
营养盐加富和鱼类添加对浮游植物群落演替和多样性的影响 .....	陈纯, 李思嘉, 肖利娟, 等 (5777)
西藏达则错盐湖沉积背景与有机沉积结构 .....	刘沙沙, 贾沁贤, 刘喜方, 等 (5785)
西藏草地多项供给及调节服务相互作用的时空演变规律 .....	潘影, 徐增让, 余成群, 等 (5794)
太湖水体溶解性氨基酸的空间分布特征 .....	姚昕, 朱广伟, 高光, 等 (5802)
基于遥感和 GIS 的巢湖流域生态功能分区研究 .....	王传辉, 吴立, 王心源, 等 (5808)
近 20 年来东北三省春玉米物候期变化趋势及其对温度的时空响应 .....	李正国, 杨鹏, 唐华俊, 等 (5818)
鄱阳湖湿地景观恢复的物种选择及其对环境因子的响应 .....	谢冬明, 金国花, 周杨明, 等 (5828)
珠三角河网浮游植物生物量的时空特征 .....	王超, 李新辉, 赖子尼, 等 (5835)
南京市景观时空动态变化及其驱动力 .....	贾宝全, 王成, 邱尔发 (5848)
川西亚高山-高山土壤表层有机碳及活性组分沿海拔梯度的变化 .....	秦纪洪 王琴 孙辉 (5858)
城市森林碳汇及其抵消能源碳排放效果——以广州为例 .....	周健, 肖荣波, 庄长伟, 等 (5865)
基于机器学习模型的沙漠腹地地下水含盐量变化过程及模拟研究 .....	范敬龙, 刘海龙, 雷加强, 等 (5874)
干旱区典型绿洲城市发展与水资源潜力协调度分析 .....	夏富强, 唐宏, 杨德刚, 等 (5883)
海岸带区域综合承载力评估指标体系的构建与应用——以南通市为例 .....	魏超, 叶属峰, 过仲阳, 等 (5893)
中街山列岛海洋保护区鱼类物种多样性 .....	梁君, 徐汉祥, 王伟定 (5905)
丰水期长江感潮河口段网采浮游植物的分布与长期变化 .....	江志兵, 刘晶晶, 李宏亮, 等 (5917)
基于生态网络的城市代谢结构模拟研究——以大连市为例 .....	刘耕源, 杨志峰, 陈彬, 等 (5926)
保护区及周边居民对野猪容忍性的影响因素——以黑龙江凤凰山国家级自然保护区为例 .....	徐飞, 蔡体久, 琚存勇, 等 (5935)
三江源牧户参与草地生态保护的意愿 .....	李惠梅, 张安录, 王珊, 等 (5943)
沈阳市降雨径流初期冲刷效应 .....	李春林, 刘森, 胡远满, 等 (5952)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 514 \* zh \* P \* ¥ 90.00 \* 1510 \* 59 \* 2013-09



**封面图说:** 川西高山地带土壤及植被——青藏高原东缘川西的高山地带坡面上为草地, 沟谷地带由于低平且水分较充足, 生长有很多灌丛。川西地区大约在海拔 4000m 左右为林线, 以下则分布有亚高山森林。亚高山森林是以冷、云杉属为建群种或优势种的暗针叶林为主体的森林植被。作为高海拔低温生态系统, 高山-亚高山地带土壤碳被认为是我国重要的土壤碳库。有研究表明, 易氧化有机碳含量与海拔高度呈显著正相关, 显示高海拔有利于土壤碳的固存。因而, 这里的表层土壤总有机碳含量随着海拔的升高而增加。

**彩图及图说提供:** 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201304060611

黄超超, 黄锦学, 熊德成, 卢正立, 王伟伟, 杨智杰, 陈光水. 基于土芯法的亚热带常绿阔叶林细根空间变异与取样数量估计. 生态学报, 2013, 33(18): 5636-5643.

Huang C C, Huang J X, Xiong D C, Lu Z L, Wang W W, Yang Z J, Chen G S. Spatial heterogeneity of fine roots in a subtropical evergreen broad-leaved forest and their sampling strategy based on soil coring method. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(18): 5636-5643.

## 基于土芯法的亚热带常绿阔叶林细根 空间变异与取样数量估计

黄超超<sup>1,2</sup>, 黄锦学<sup>1,2</sup>, 熊德成<sup>1,2</sup>, 卢正立<sup>1,2</sup>, 王伟伟<sup>1,2</sup>, 杨智杰<sup>1,2</sup>, 陈光水<sup>1,2,\*</sup>

(1. 湿润亚热带山地生态国家重点实验室培育基地, 福州 350007; 2. 福建师范大学地理研究所, 福州 350007)

**摘要:** 树木细根具有高度空间异质性, 确定合理的细根取样策略是林木细根研究的前提。通过在福建省三明米牯天然常绿阔叶林内随机钻取 96 个土芯, 分析细根生物量和形态特征的空间变异特征, 并估计各指标所需的取样数量。结果表明: (1) 随着径级增加, 细根各指标变异系数增大, 相应的取样数量增加; (2) 随着土壤深度增加, 单位面积细根生物量变异程度和相应的取样数量均增加。在置信水平为 95%、精度为 80% 的条件下, 直径为 0—1 mm 和 1—2 mm 的细根, 分别采集 16 和 42 个样品可以满足测定单位面积细根生物量, 采集 17 和 31 个样品可以满足测定单位面积细根长度, 采集 25 和 33 个样品可以满足测定单位面积细根表面积。Shapiro-Wilk 检验表明, 除表层土壤 0—1 mm 细根单位面积生物量符合正态分布外, 其余细根生物量和形态指标数据均不符合正态分布。研究结果为亚热带常绿阔叶林细根的合理取样提供了科学依据。

**关键词:** 常绿阔叶林; 细根; 取样数量; 土芯法; 空间异质性; 亚热带

## Spatial heterogeneity of fine roots in a subtropical evergreen broad-leaved forest and their sampling strategy based on soil coring method

HUANG Chaochao<sup>1,2</sup>, HUANG Jinxue<sup>1,2</sup>, XIONG Decheng<sup>1,2</sup>, LU Zhengli<sup>1,2</sup>, WANG Weiwei<sup>1,2</sup>, YANG Zhijie<sup>1,2</sup>, CHEN Guangshui<sup>1,2,\*</sup>

1 State Key Laboratory of Humid Subtropical Mountain Ecology, Fuzhou 350007, China

2 Institute of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China

**Abstract:** Fine roots, commonly defined as roots <2 mm in diameter, play an important role in nutrient cycle and energy flow in forest ecosystems. Tree fine roots are highly spatially heterogeneous, so only a large number of samples can be valid to study such heterogeneity. However, the minimum sample numbers and the proper sampling strategy is unknown yet, which results in uncertainties in fine-root studies. In this paper, by using the soil core sampling method, 96 soil cores were taken randomly in a subtropical evergreen broad-leaved forest located at Sanming, Fujian Province. Every soil core was divided into four parts according to soil depth: 0—10 cm, 10—20 cm, 20—40 cm, and 40—60 cm. Fine roots in different soil depth were washed and picked, and was further separated into different diameter classes of 0—1 mm and 1—2 mm. Fine roots were then scanned for measurement of morphological characteristics, and oven and weighed for biomass. The objectives of this research were to: (1) understand the spatial heterogeneity of fine root biomass and morphological characteristics; (2) estimate the sample sizes required for getting various fine root characteristic values. The results showed that, as diameter class increases, the coefficient of variation (CV) of fine root variables increases, and the required sampling sizes increase accordingly. The CVs for fine-root biomass, length and surface area per unit ground area of different diameter classes were unanimously between 40%—60%. At the same time, fine-root biomass, length and surface area at per unit ground area

**基金项目:** 国家自然科学基金重点项目 (31130013); 福建省杰出青年科研基金项目 (2010J06009)

**收稿日期:** 2013-04-06; **修订日期:** 2013-07-03

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gshuichen@163.com

declined with the increases of fine root diameter class. With the increases of soil depth, fine-root biomass of different diameter classes per unit ground area decreased, and their CVs increased, while the required sampling sizes increased accordingly. Except for fine-root biomass of 0—1 mm per unit ground area in the surface soil which had a CV of 48.61%, the rest of fine roots from different diameter classes and soil depths had CVs of biomass per unit ground area consistently between 80%—90%. Under the condition with confidence level of 98% and precision of 80%, for fine roots of 0—1 mm and 1—2 mm, collecting 16 and 42 cores can meet the determination for fine root biomass per unit ground area, 17 and 31 cores for fine root length per unit ground area, and 25 and 33 cores for fine root surface area per unit ground area, respectively. By comparison, most reported root studies using soil coring were insufficient sampling sizes. The Shapiro-Wilk test showed that among different diameter classes, only fine-root biomass per unit ground area of 0—1 mm conforms to the normal distribution; among different soil depths, only fine-root biomass per unit ground area of 0—1 mm in the surface soil conforms to normal distribution. Thus, for field data on fine-root biomass and morphology by soil coring, data transformation were generally required to meet normality. These results provided a scientific basis for minimum sampling sizes and sampling strategy in subtropical evergreen broad-leaved forest and are therefore helpful to belowground studies. More studies should be conducted to further determine factors affecting the minimum sampling size of soil coring.

**Key Words:** evergreen broad-leaved forest; fine roots; sampling size; soil coring; spatial heterogeneity; subtropical

细根,通常指直径小于 2 mm 的根,是树木吸收水分和养分的主要器官<sup>[1]</sup>,其在土壤中的空间分布直接影响林木的生长发育和生产力<sup>[2]</sup>。在森林生态系统中,细根(<2 mm)虽然只占根系总生物量的 3%—30%<sup>[3]</sup>,但是细根生产、死亡和周转引起的碳通量成为森林生态系统碳和养分循环的核心环节<sup>[1,4]</sup>,这就使得精确估算细根生物量和细根动态在估计森林碳预算中具有十分重要的作用<sup>[5]</sup>。

测定细根生物量有不同的取样方法。与挖掘法相比,土芯法取样能够在保证相同精度的同时,成本更低<sup>[6]</sup>,因而土芯法成为测定细根生物量普遍使用的方法<sup>[7-8]</sup>。应用土芯法时需要考虑取样的数量<sup>[7-9]</sup>,这取决于细根分布的异质性<sup>[7-8]</sup>和所用根钻的直径<sup>[10]</sup>。研究表明,不论在大尺度上还是在小尺度上,地下根系生物量均表现出高度的空间异质性现象<sup>[11-12]</sup>。这种异质性,降低了地下根系分布状态的可预知性,增加了地下生物量研究时取样点设置的难度<sup>[13]</sup>。为求得对细根生物量平均值的可靠估计,需要足够的取样数量<sup>[14]</sup>。理论上讲,估计的准确性随取样数量的增加而提高<sup>[15]</sup>,但随着取样数量增加,相应的时间和花费也增加,受此限制,一般研究者所确定的取样数量偏少,而无法保证所采集的样品能准确代表地下根系整体水平<sup>[16-18]</sup>。因此,在了解细根空间分布异质性的前提下,利用土芯法研究细根取样,对于森林生态研究将有着重要的作用。目前有关温带森林和热带森林中细根的空间变异性已有一定研究<sup>[12-13,19-20]</sup>,但我国亚热带森林的相关研究则尚未见报道。

本文以我国亚热带常绿阔叶林为研究对象,采用土芯取样方法,研究常绿阔叶林细根的空间变异,并对获取细根特征值所需的取样数量进行估计,以期准确测定森林细根生物量等特征值提供参考,同时亦可为亚热带常绿阔叶林生态学提供细根基础数据。

## 1 试验地概况

研究地位于福建省三明格氏栲自然保护区(26°11'N, 117°28'E)内,约 200 年没有人为干扰。样地海拔为 315 m,坡向 NE 25°,坡度 35°。林分密度为 1955 株/hm<sup>2</sup>,郁闭度 0.89,平均胸径 13.1 cm,平均树高 11.9 m。群落植物种类丰富且分层明显。其中乔木主要有米槠(*Castanopsis carlesii*)、木荷(*Schima superba*)、马尾松(*Pinus massoniana*)、虎皮楠(*Daphniphyllum oldhamii*)、细叶香桂(*Cinnamomum subavenium*)、杜英(*Elaeocarpus decipiens*)、新木姜子(*Neolitsea aurata*)、桂北木姜子(*Litsea subcoriace*)等。灌木主要有赤楠(*Syzygium buxifolium*)、狗骨柴(*Tricalysia dubia*)、山黄皮(*Clausena excavata*)、瓜馥木(*Fissistigma oldhamii*)、枸骨(*Ilex cornuta*)等。草本植物主要有艳山姜(*Alpinia zerumbet*)、草珊瑚(*Sarcandra glabra*)、铁线蕨(*Adiantum capillus-veneris*)、狗脊蕨(*Woodwardia japonica*)等。藤本植物主要有香花崖豆藤(*Millettia dielsiana*)、网脉酸藤子(*Embelia rudis*)、菝葜(*Smilax china*)、五味子(*Schisandra chinensis*)、念珠藤(*Alyxia fascicularis*)等。

## 2 研究方法

### 2.1 根系样品采集与处理

2011 年 7 月,在该天然常绿阔叶林内选取坡面平坦和一致的地段设置氮沉降长期试验样地,包括对照、低氮和高氮 3 种施氮处理,沿坡位设立 4 个区组(重复),因而共建立了 12 块大小为 10 m×10 m 的样地,各样地间相隔在 10 m 左右。本研究为氮沉降样地本底调查研究的一部分。在每块样地内随机选择 8 个细根取样点,共 96 个取样点。用内径为 4.05 cm 的根钻在每样点钻取土芯。钻取土芯前,去掉地表凋落物,再将取好的土芯分 4 层(0—10 cm, 10—20 cm, 20—40 cm, 40—60 cm),分别装入

塑料袋内作好标签带回实验室。在实验室将取回的土芯样用孔径 0.5 mm 土壤筛在流水中冲洗,将洗净后的活根按根直径 0—1 mm、1—2 mm 进行分级,并把分好级的各层根用数字化扫描仪 Epson scanner 进行扫描。扫描后将根系样品放入 65 °C 烘箱内,烘干至恒重(48 h)后用电子天平( $\pm 0.0001$  g)称量。扫描得到的图像用根系图像分析软件(WinRHIZO Pro 2009b)分析根系形态指标。本研究只对活根进行研究,文中根系各指标的计算公式如下:

$$\text{单位面积生物量}(\text{g}/\text{m}^2) = \text{每根土芯根系干重}(\text{g}) \times 10^4 / [\pi(4.05 \text{ cm}/2)^2]$$

$$\text{单位面积长度}(\text{m}/\text{m}^2) = \text{每根土芯根系长度}(\text{mm}) \times 10 / [\pi(4.05 \text{ cm}/2)^2]$$

$$\text{单位面积表面积}(\text{cm}^2/\text{m}^2) = \text{每根土芯根系表面积}(\text{mm}^2) \times 10^2 / [\pi(4.05 \text{ cm}/2)^2]$$

## 2.2 数据分析

分别对不同直径细根单位面积生物量、单位面积根长、单位面积根表面积,以及不同土层的细根单位面积生物量等指标进行描述性统计分析。描述性统计包括平均值、标准差、最大/最小值、变异系数(CV)等。用 Shapiro-Wilk 检验检验各指标值是否符合正态分布。

本研究中土芯的取样量达 96 个,符合大样本的标准。根据中心极限定理,不论总体是否符合正态分布,只要取样量足够大,样本均值的抽样分布就近似正态分布。因而本文根据正态分布的样本容量计算公式确定最佳取样量<sup>[21]</sup>:

$$N = \left( \frac{\mu_{\alpha/2} \times Std}{\bar{X} \times (1 - P)} \right)^2$$

式中, $N$ 为需要的取样数量, $\mu_{\alpha/2}$ 为与显著性水平相对应的标准正态分布的双侧分位数, $Std$ 为样本标准差, $P$ 为估计精度, $\bar{X}$ 为样本平均值。

所有数据处理均用 SPSS17.0 软件进行。

## 3 研究结果

### 3.1 亚热带常绿阔叶林细根的空间变化特征

#### 3.1.1 不同径级细根的变化特征

采用细根变量平均值、标准差和变异系数(CV)等指标研究样地细根变量的平均状况和变异程度。根据变异系数的大小可以估计变量的变异程度,一般认为, $CV \leq 10\%$ 属弱变异性, $10\% < CV < 100\%$ 属中等变异性, $CV \geq 100\%$ 属强变异性<sup>[22-24]</sup>。样地不同径级细根变量的统计特征值如表 1 所示。

表 1 亚热带常绿阔叶林不同径级细根统计特征

Table 1 Statistical characteristics of fine roots of different diameter class in a subtropical evergreen broad-leaved forest

细根指标 Fine root variable	径级/mm Diameter class	平均值 Mean	标准差 Standard deviation	最小值 Minimum	最大值 Maximum	变异系数/% Coefficient of variation	分布型 Distribution
单位面积生物量/(g/m <sup>2</sup> ) Biomass per unit ground area	0—1	187.66	76.93	41.08	347.24	40.99	正态 Normal
	1—2	119.70	79.07	11.81	384.80	66.05	非正态 Non-normal
单位面积长度/(m/m <sup>2</sup> ) Length per unit ground area	0—1	172.36	72.46	54.73	495.89	42.04	非正态 Non-normal
	1—2	17.20	9.74	1.99	49.72	56.63	非正态 Non-normal
单位面积表面积/(cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ) Surface area per unit ground area	0—1	315.04	161.80	79.70	1052.45	51.36	非正态 Non-normal
	1—2	72.52	42.46	10.80	200.78	58.55	非正态 Non-normal

从各变量的变异系数看,样地细根分布存在较大的空间异质性现象,各指标均表现为中等程度变异。不同径级细根单位面积生物量、长度和表面积变异系数基本一致在 40%—66% 之间,且随着径级的增加,各指标的变异系数都呈增大的趋势(表 1)。分布检验表明,只有 0—1 mm 细根的单位面积生物量符合正态分布,而其它指标均不符合正态分布(表 1)。

不同径级细根的单位面积生物量、长度和表面积具有一定的差异性。随着径级增大,细根单位面积生物量、长度和表面积均呈减小趋势。从单位面积生物量看,直径为 0—1 mm 的细根,平均值为(187.66±76.93) g/m<sup>2</sup>,呈正态分布;直径为 1—2 mm 的细根,平均值为(119.70±79.07) g/m<sup>2</sup>,其主要分布在 0—200 g/m<sup>2</sup> 之间(表 1,图 1),约占 90%。从细根的单位面积长度和单位面积表面积看,直径为 0—1 mm 的细根均明显大于直径为 1—2 mm 的细根(表 1)。具体来看,直径为 0—1 mm 的细根其单位面积长度绝大部分在 50—300 m/m<sup>2</sup> 之间,占到 95%,无小于 50 m/m<sup>2</sup> 的情况,而直径为 1—2 mm 的细根其单位面积长度则全部在 50 m/m<sup>2</sup> 以下(图 2);直径为 0—1 mm 的细根其单位面积表面积基本都在 100—600 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> 之间,而直径为 1—2 mm 的细根其单位面积表面积基本都在 150 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> 以下(图 3)。总体来看,1—2 mm 细根的单位面积生物量的频率分布与其单位面积根长、单位面积表面积频率分布相似;但 0—1 mm 细根 3 种指标的频率分布则有明显差异:0—1 mm 细根单位面积生物量呈

正态分布,而其单位面积根长和单位面积表面积则呈右偏分布(图 1—图 3)。

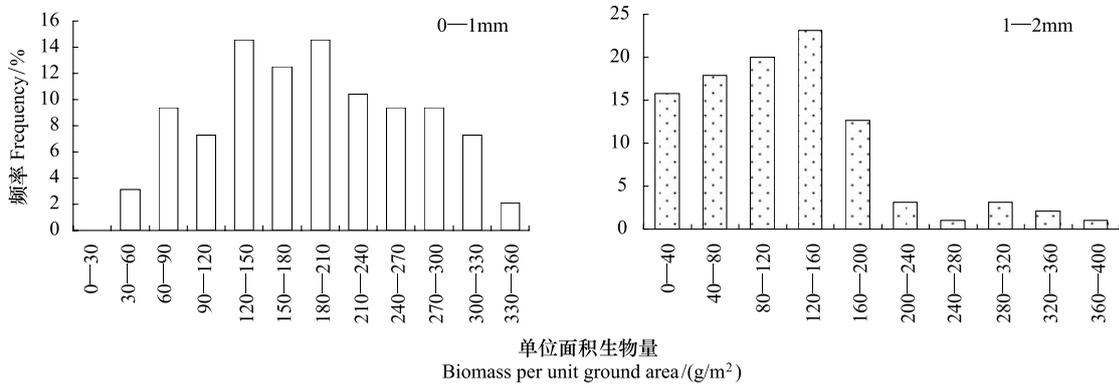


图 1 不同径级细根单位面积生物量频率分布图

Fig.1 Frequency distribution of fine root biomass per unit ground area for different root diameter class

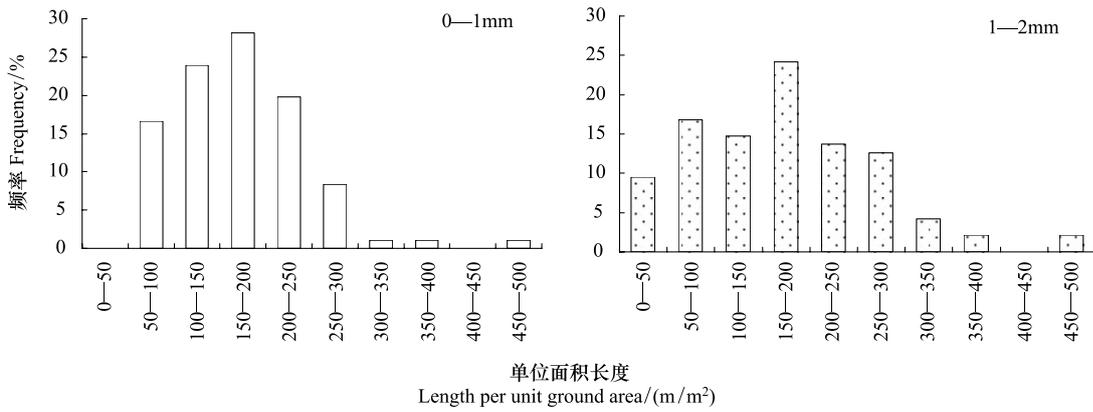


图 2 不同径级细根单位面积长度频率分布图

Fig.2 Frequency distribution of fine root length per unit ground area for different root diameter class

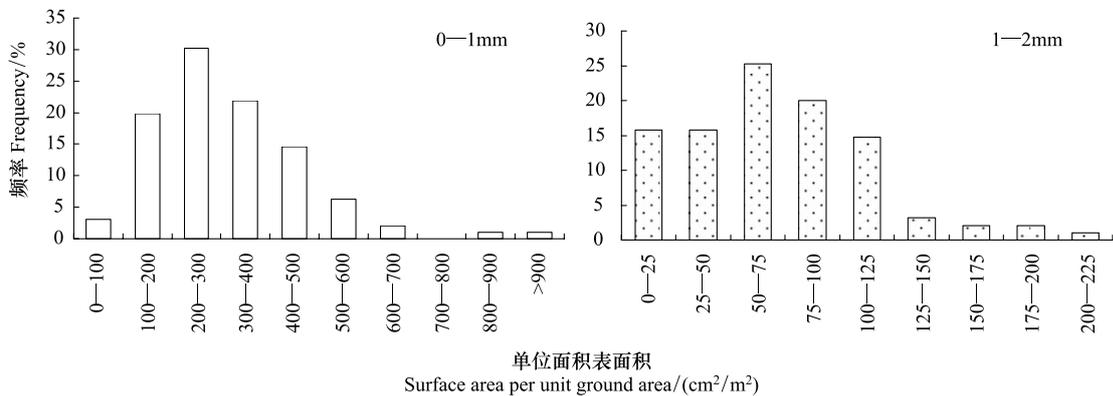


图 3 不同径级细根单位面积表面积频率分布图

Fig.3 Frequency distribution of fine root surface area per unit ground area for different root diameter class

3.1.2 不同土层细根单位面积生物量的变化特征

从不同土层细根单位面积生物量看,随土壤深度增加,不同径级细根单位面积生物量减小,但其变异程度则随土层增加而增加(表 2)。

具体来看,最底层土壤(40—60 cm)细根的变异系数最大,达 100%以上,属强变异性;除最表层土壤中 0—1 mm 的细根其单位面积生物量变异系数为 48.61%以外,其余土层和径级细根单位面积生物量的变异系数均一致在 80%—90%之间(表 2)。

Shapiro-Wilk 检验表明,只有最表层土壤 0—1 mm 细根单位面积生物量符合正态分布,其余土层和径级细根的单位面积生物量均不符合正态分布(表 2)。

表 2 亚热带常绿阔叶林不同土层细根生物量统计特征

Table 2 Statistical characteristics of fine root biomass at different soil depth in a subtropical evergreen broad-leaved forest

细根指标 Fine root variable	土层/cm Soil depth	径级/mm Diameter class	平均值 Mean	标准差 Standard deviation	最小值 Minimum	最大值 Maximum	变异系数/% Coefficient of variation	分布型 Distribution
单位面积生物量/(g/m <sup>2</sup> ) Biomass per unit ground area	0—10	0—1	107.41	52.21	18.78	233.56	48.61	正态 Normal
		1—2	68.41	57.42	2.80	358.61	83.93	非正态 Non-normal
单位面积生物量/(g/m <sup>2</sup> ) Biomass per unit ground area	10—20	0—1	37.47	30.20	0.99	214.94	80.59	非正态 Non-normal
		1—2	42.93	34.56	2.20	129.60	80.51	非正态 Non-normal
	20—40	0—1	33.29	27.01	1.65	127.96	81.14	非正态 Non-normal
		1—2	31.52	27.53	2.14	108.46	87.34	非正态 Non-normal
	40—60	0—1	21.04	22.12	0.38	105.44	105.13	非正态 Non-normal
		1—2	43.78	58.81	1.92	251.46	134.32	非正态 Non-normal

### 3.2 细根取样数量的估计

#### 3.2.1 不同径级细根取样数量的估计

经样本容量公式计算结果表明,在相同的置信水平和估计精度下,细根取样样本容量因不同细根指标和不同细根径级而有所区别。随着径级的增加,各指标相应的取样数量增加;另外,置信水平和估计精度要求越高,各指标需要的取样数量也相应增加(表 3)。

表 3 一定置信水平与估计精度下的不同径级细根取样数量

Table 3 Required sample sizes for different root diameter class at various confidence levels and estimated precisions

细根指标 Fine root variable	径级/mm Diameter class	估计精度(95%置信水平) Estimated precisions (at 95% confidence levels)			估计精度(90%置信水平) Estimated precisions (at 90% confidence levels)		
		95%	90%	80%	95%	90%	80%
		单位面积生物量/(g/m <sup>2</sup> ) Biomass per unit ground area	0—1	258	65	16	182
单位面积长度/(m/m <sup>2</sup> ) Length per unit ground area	0—1	272	68	17	191	48	12
单位面积表面积/(cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ) Surface area per unit ground area	0—1	405	101	25	285	71	18
	1—2	527	132	33	371	93	23

考虑到取样和样品处理工作量之间的权衡,认为细根取样采用置信水平为 95%、精度为 80%的样本容量比较合适。因而,在该置信水平和精度要求下,径级分别为 0—1 mm 和 1—2 mm 的细根,采集 16 和 42 个样品可以满足测定单位面积生物量要求,采集 17 和 31 个样品可以满足测定单位面积长度要求,采集 25 和 33 个样品可以满足测定单位面积表面积要求(表 3)。

#### 3.2.2 不同土层细根取样数量的估计

经样本容量公式计算的不同土层不同径级细根取样数量结果表明:随着土层加深,相应的取样数量增加;在同一土层中,随着细根径级增大,细根取样数量增多;另外,置信水平和估计精度要求越高,不同土层需要的取样数量同样相应增加(表 4)。在置信水平为 95%、精度为 80%时,测定 0—1 mm 细根单位面积生物量,0—10 cm 仅需取样 23 个,但 40—60 cm 则需取样 106 个,所需取样数量扩大了约 5 倍(表 4)。

## 4 讨论

众多研究表明,不论在大尺度上还是在小尺度上,不论在水平方向上还是在垂直方向上,地下根系均表现为高度的空间异质性现象<sup>[11-12]</sup>。根系水平分布空间异质性产生的原因可能主要是立地条件的空间异质性,如细根分布与枯枝落叶层数量、土壤有机质含量、养分含量等的分布差异相关<sup>[25-27]</sup>;此外,细根分布与树干位置也有一定的关系<sup>[14]</sup>。根系垂直分布的空间异质性可能主要受树种、地下水位和土壤资源(如养分、水分)、土壤物理性质(土壤容重、孔隙度)等的影响<sup>[28]</sup>。本研究计算结果证实了亚热带常绿阔叶林细根存在高度的空间异质性现象(表 1,表 2)。

在细根分布存在空间(水平的和垂直的)异质性的条件下,为求得对细根指标平均值的可靠估计,需要考虑野外细根的合

理取样数量。关于细根取样数量的确定,目前研究很少。Metcalf 等<sup>[12]</sup>对热带雨林研究发现,在置信水平为 95%、估计精度为 90%的条件下,细根(<2 mm)需要的取样数量为 44±11,而实际取样数量为 13±2。在与 Metcalf 等<sup>[12]</sup>相同的置信水平和估计精度条件下,为估算细根单位面积生物量,本研究计算得到的取样数量为:直径为 0—1 mm 的细根需取样 65 个,直径为 1—2 mm 的细根需取样 168 个(表 3)。相比之下,本研究中所需的取样数量更多,原因可能与土钻直径差异有关。采用的土钻直径为 4.05 cm,相比 Metcalf 等<sup>[12]</sup>人研究所采用的土钻直径(14 cm)要小很多。一般而言,土钻直径越大,取到的细根越多,所需的取样数量越少,相反土钻直径越小所需的取样数量越多<sup>[10]</sup>,即取样数量受取样体积的影响<sup>[29]</sup>。同时,也可能与林分类型有关,Metcalf 等<sup>[12]</sup>研究的是热带雨林,本研究是亚热带天然常绿阔叶林,不同的林分类型其树种组成、林分结构和土壤理化性质等不同,因而影响林分细根生长与分布,进而影响细根取样数量。为估计根系生物量,大部分研究者所确定的取样数量为 8 到 30<sup>[19]</sup>;Olsthoorn 认为取样数量至少应在 10 个以上<sup>[30]</sup>。但通过本研究及 Metcalf 等<sup>[12]</sup>的研究发现,以往大部分研究中的细根取样数量严重偏少,加大细根的取样数量,提高细根生物量及相关指标估计的精度,已成为今后细根研究迫切需要解决的问题。根系取样数量受取样方法的影响,在本文中的土芯法,一般只适用于较小根系,因小的根系较多且分布较均匀,而对于相对较少且分布不均匀的粗根,一般只有通过大体取样如土柱法和壕沟法才能获取到<sup>[6,31]</sup>。另外,相比于大多数研究所采用的土钻(直径一般为 7 cm)<sup>[10]</sup>,研究所采用的土钻直径较小(4.05 cm),相应计算得到的取样数量明显偏多(表 3,表 4),因此,在细根研究中确定取样数量时,应考虑到取样方法和土钻直径的差异。

表 4 一定置信水平与估计精度下的不同土层细根取样数量

Table 4 Required sample sizes for different soil depth at various confidence levels and estimated precisions

细根指标 Fine root variable	土层/cm Soil depth	径级/mm Diameter class	估计精度(95%置信水平) Estimated precisions (at 95% confidence levels)			估计精度(90%置信水平) Estimated precisions (at 90% confidence levels)		
			95%	90%	80%	95%	90%	80%
			单位面积生物量/(g/m <sup>2</sup> ) Biomass per unit ground area	0—10	0—1	363	91	23
		1—2	1082	271	68	762	191	48
	10—20	0—1	998	249	62	703	176	44
		1—2	996	249	62	701	175	44
	20—40	0—1	1012	253	63	712	178	45
		1—2	1172	293	73	826	206	52
	40—60	0—1	1698	425	106	1196	299	75
		1—2	2773	693	173	1953	488	122

结果表明:(1)随着径级增加,细根各指标变异增大,相应的取样数量增加(表 1,表 3)。这可能是因为径级小的根是植物吸收水分和养分的主要器官,因而需要比较充分占据土壤空间,分布相对较均匀;而径级较大的细根主要起支持和输导作用,分布上可能更集中于粗根和树干位置周围,因而导致空间异质性较大。(2)随着土壤深度增加,单位面积细根生物量变异程度增加,相应的取样数量也急剧增加(表 2,表 4)。这是因为土壤养分主要集中在表层土壤,因而细根亦主要集中在土壤表层<sup>[32-33]</sup>,相对于较深层土壤,表层细根分布更均匀;而底层土壤中的细根生物量相对较小,而且受树木个体大小、主根分布深度、离树干位置、土层厚度等的变异的影响,导致底层土壤细根生物量的变异程度更大。因而,研究结果表明,在确定细根取样数量时,应充分考虑不同径级和土层细根对取样数量要求的差异。

本研究,取样数量为 96 个,在如此大的取样数量下,Shapiro-Wilk 检验表明,只有 0—1 mm 细根的单位面积生物量符合正态分布,而其它指标均不符合正态分布;同时在不同土层中,只有最表层土壤径级为 0—1 mm 的细根其单位面积生物量符合正态分布,其余土层和径级细根的单位面积生物量均不符合正态分布(表 1,表 2)。孙志虎等<sup>[13]</sup>对落叶松纯林表层的细根(<2 mm)研究亦表明,当取样数量为 82 时细根生物量才基本呈正态分布。而陈光水等<sup>[14]</sup>对格氏栲和杉木人工林分别随机取土芯 41 个和 40 个,结果发现两个林分细根(<2 mm)生物量均不呈正态分布。细根的这种非正态分布(特别是径级较大的细根)可能与林地细根的非随机分布有关,即可能受到树木大小和位置等因素的影响而表现为一定的规则分布。由于细根分布的非随机性,因而在野外取样时,必须要有足够样本和尽量做到随机取样才能获得符合正态分布的样本。在本研究中,0—1 mm 的细根相比 1—2 mm 的细根更充分占据土壤空间,同时表层细根相比底层细根分布更均匀,并且取样数量足够多,因而表层土壤径级为 0—1 mm 的细根容易得到正态分布。研究表明,只有在大量取样的情况下,细根生物量分布才会呈现出正态分布,而大部分研究中的小取样量(30 以下)所获得的细根生物量根本不能满足正态分布的要求,因而都需要作相应的正态转换。虽然 0—1 mm 径级细根的单位面积生物量呈正态分布,但其单位面积根长和表面积分布则呈右偏分布,而并不符合正态分布。这与直径越小,细根的比根长和比表面积越大有关,从而导致细根生物量分布与细根形态指标分布的差异。但 1—2 mm 径级细根 3 种指标

的频率分布基本相似,这可能与该径级细根比根长和比面积差异较小有关。因而,在细根研究中,还应注意不同细根指标数据分布的差异。

## 5 小结

(1) 亚热带常绿阔叶林细根存在高度的空间异质性现象,这种异质性表现在随着细根径级和土壤深度的增加,细根变异增大,相应所需的取样数量亦增加。因而,在细根取样时,应充分考虑不同径级和土层细根对取档数量要求的差异。

(2) 在大的取样数量下,Shapiro-Wilk 检验表明,只有 0—1 mm 细根的单位面积生物量符合正态分布,同时在不同土层中,只有最表层土壤径级为 0—1 mm 细根的单位面积生物量符合正态分布。这说明小取样量不能满足正态分布的要求,需要做相应的正态转换。

(3) 以往大部分研究中的细根取样数量严重偏少,在今后的细根研究中,需加大细根的取样数量,以提高细根生物量及相关指标估计的精度。

## References:

- [ 1 ] Hendricks J J, Nadelhoffer K J, Aber J D. Assessing the role of fine roots in carbon and nutrient cycling. *Trends in Ecology and Evolution*, 1993, 8 (5): 174-178.
- [ 2 ] Hendrick R L, Pregitzer K S. Patterns of fine root mortality in two sugar maple forests. *Nature*, 1993, 361(6407): 59-61.
- [ 3 ] Vogt K A, Vogt D J, Bloomfield J. Analysis of some direct and indirect methods for estimating root biomass and production of forests at an ecosystem level. *Plant and Soil*, 1998, 200(1): 71-89.
- [ 4 ] Guo D L, Mitchell R J, Hendricks J J. Fine root branch orders respond differentially to carbon source-sink manipulations in a longleaf pine forest. *Oecologia*, 2004, 140(3): 450-457.
- [ 5 ] Brunner I, Godbold D L. Tree roots in a changing world. *Journal of Forest Research*, 2007, 12(2): 78-82.
- [ 6 ] Levillain J, M'Bou A T, Deleporte P, Saint-Andre L, Jourdan C. Is the simple auger coring method reliable for below-ground standing biomass estimation in *Eucalyptus* forest plantations? *Annals of Botany*, 2011, 108(1): 221-230.
- [ 7 ] Huang J H, Han X G, Chen L Z. Advances in the research of (fine) root biomass in forest ecosystems. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(2): 270-277.
- [ 8 ] Zhang X Q, Wu K H, Dieter M. A review of methods for fine-root production and turnover of trees. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(5): 875-883.
- [ 9 ] Yu W T, Yu Y Q. Advances in the research of underground biomass. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(6): 927-932.
- [ 10 ] Sun L A, Liu G B, Liang Y M. Studies on determining methods of underground biomass with different diameter coring. *Grassland of China*, 1994, (2): 32-35.
- [ 11 ] Liao L P, Deng S J, Yu X J, Han S J. Growth, distribution and exudation of fine roots of Chinese fir trees grown in continuously cropped plantations. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(4): 569-573.
- [ 12 ] Metcalfe D, Meir P, Aragao L E O C, Da Costa A, Almeida S, Braga A, Gonçalves P, Athaydes J, Malhi Y, Williams M. Sample sizes for estimating key ecosystem characteristics in a tropical *terra firme* rainforest. *Forest Ecology and Management*, 2008, 255(3/4): 558-566.
- [ 13 ] Sun Z H, Wang Q C. The estimate of root biomass in upper soil layer of *Fraxinus mandshurica* plantation by geostatistics method. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(4): 923-930.
- [ 14 ] Chen G S, Yang Y S, He Z M, Xie J S, Gao R, Zeng H D. Effects of proximity of stems and tree diameters on fine root density in plantations. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(5): 1007-1011.
- [ 15 ] Bengough A G, Castrignano A, Pagès L, van Noordwijk M. Sampling strategies, scaling, and statistics // Smit A L, Bengough A G, Engels C, van Noordwijk M, Pellerin S, van de Geijn S C, eds. *Root Methods*. Berlin: Springer, 2000: 147-173.
- [ 16 ] Metcalfe D B, Williams M, Aragão L, Da Costa A C, De Almeida S S, Braga A P, Gonçalves P H L, De Athaydes J, Junior S, Malhi Y, Meir P. A method for extracting plant roots from soil which facilitates rapid sample processing without compromising measurement accuracy. *New Phytologist*, 2007, 174(3): 697-703.
- [ 17 ] Pierret A, Moran C J, Doussan C. Conventional detection methodology is limiting our ability to understand the roles and functions of fine roots. *New Phytologist*, 2005, 166(3): 967-980.
- [ 18 ] Rodrigues de Sousa J T, Gehring C. Adequacy of contrasting sampling methods for root mass quantification in a slash-and-burn agroecosystem in the eastern periphery of Amazonia. *Biology and Fertility of Soils*, 2010, 46(8): 851-859.
- [ 19 ] Berhongaray G, King J S, Janssens I A, Ceulemans R. An optimized fine root sampling methodology balancing accuracy and time investment. *Plant and Soil*, 2013, 366(1/2): 351-361.
- [ 20 ] Wang S T, Han S J, Zhang J H, Wang C G, Xu Y, Li X F, Wang S Q. Woody plant fine root biomass and its spatial distribution in top soil of broad-leaved Korean pine forest in Changbai Mountain. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(3): 583-589.
- [ 21 ] Li W Z, Yu J R, Yang J C. *Applied Statistics*. Beijing: Higher Education Press, 1989: 94-97.
- [ 22 ] Liu S C, Duan W B. Spatial heterogeneity of soil nutrition in the mixed broad-leaved Korean pine forest gap. *Journal of Soil and Water Conservation*,

- 2011, 25(3): 142-146.
- [23] Zhang Y H, Li H J, Rong Y M, Yan J X, Li J J. Study on spatial heterogeneity of soil respiration in Taiyuan Basin. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(23): 6606-6612.
- [24] Zhang C H, Wang Z M, Ren C Y, Song K S, Zhang B, Liu D W. Spatial characteristics of soil organic carbon and nitrogen storages in Songnen Plain maize belt. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(3): 631-639.
- [25] Hendrick R L, Pregitzer K S. The relationship between fine root demography and the soil environment in northern hardwood forest. *EcoScience*, 1997, 4(1): 99-105.
- [26] Farrish K W. Spatial and temporal fine-root distribution in three Louisiana forest soils. *Soil Science Society of America Journal*, 1991, 55(6): 1752-1757.
- [27] Majdi H, Kangas P. Demography of fine roots in response to nutrient applications in a Norway spruce stand in southwestern Sweden. *EcoScience*, 1997, 4(2): 199-205.
- [28] Shi J W, Wang M B, Chen J W, Cao J T. The spatial distribution and seasonal dynamics of fine roots in a mature *Caragana korshinskii* plantation. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(3): 726-733.
- [29] Taylor B N, Beidler K V, Cooper E R, Strand A E, Pritchard S G, Classen A. Sampling volume in root studies: the pitfalls of under-sampling exposed using accumulation curves. *Ecology Letters*, 2013, 16(7): 862-869.
- [30] Olsthoorn A F M. Fine root density and root biomass of two Douglas-fir stands on sandy soils in the Netherlands. 1. Root biomass in early summer. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 1991, 39(1): 49-60.
- [31] Macinnis-Ng C M O, Fuentes S, O'Grady A P, Palmer A R, Taylor D, Whitley R J, Yunusa I, Zeppel M J B, Eamus D. Root biomass distribution and soil properties of an open woodland on a duplex soil. *Plant and Soil*, 2010, 327(1/2): 377-388.
- [32] Burkner M K, Raynal D J. Fine root growth phenology, production, and turnover in a northern hardwood forest ecosystem. *Plant and Soil*, 1994, 162(1): 135-146.
- [33] Buttner V, Leuschner C. Spatial and temporal patterns of fine root abundance in a mixed oak-beech forest. *Forest Ecology and Management*, 1994, 70(1/3): 11-21.

#### 参考文献:

- [7] 黄建辉, 韩兴国, 陈灵芝. 森林生态系统根系生物量研究进展. *生态学报*, 1999, 19(2): 270-277.
- [8] 张小全, 吴可红, Dieter M. 树木细根生产与周转研究方法评述. *生态学报*, 2000, 20(5): 875-883.
- [9] 宇万太, 于水强. 植物地下生物量研究进展. *应用生态学报*, 2001, 12(6): 927-932.
- [10] 孙力安, 刘国彬, 梁一民. 不同直径土钻测定草地地下生物量方法探讨. *中国草地*, 1994, (2): 32-35.
- [11] 廖利平, 邓仕坚, 于小军, 韩士杰. 不同连栽代数杉木人工林细根生长、分布与营养物质分泌特征. *生态学报*, 2001, 21(4): 569-573.
- [13] 孙志虎, 王庆成. 采用地统计学方法对水曲柳人工纯林表层根量的估计. *生态学报*, 2005, 25(4): 923-930.
- [14] 陈光水, 杨玉盛, 何宗明, 谢锦升, 高人, 曾宏达. 树木位置和胸径对人工林细根水平分布的影响. *生态学报*, 2005, 25(5): 1007-1011.
- [20] 王树堂, 韩士杰, 张军辉, 王存国, 徐媛, 李雪峰, 王树起. 长白山阔叶红松林表层土壤木本植物细根生物量及其空间分布. *应用生态学报*, 2010, 21(3): 583-589.
- [21] 李维铮, 于九如, 杨靖春. *应用统计学*. 北京: 高等教育出版社, 1989: 94-97.
- [22] 刘少冲, 段文标. 红松阔叶混交林林隙土壤养分的空间异质性. *水土保持学报*, 2011, 25(3): 142-146.
- [23] 张义辉, 李洪建, 荣燕美, 严俊霞, 李君剑. 太原盆地土壤呼吸的空间异质性. *生态学报*, 2010, 30(23): 6606-6612.
- [24] 张春华, 王宗明, 任春颖, 宋开山, 张柏, 刘殿伟. 松嫩平原玉米带土壤碳氮储量的空间特征. *应用生态学报*, 2010, 21(3): 631-639.
- [28] 史建伟, 王孟本, 陈建文, 曹建庭. 柠条细根的空间分布特征及其季节动态. *生态学报*, 2011, 31(3): 726-733.

**ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33 ,No.18 Sep. ,2013 ( Semimonthly )**  
**CONTENTS**

Development of agroecology in USA .....	HUANG Guoqin, McCullough Patrick E. (5449)
Research progress on water footprint .....	MA Jing, PENG Jian (5458)
Analysis and evaluation of the eco-economic systems of the main crops (rice, cotton and rapeseed) in Jiangxi Province, China .....	SUN Weimin, OU Yizhi, HUANG Guoqin (5467)
Relationship among drought, hydraulic metabolic, carbon starvation and vegetation mortality .....	DONG Lei, LI Jiyue (5477)
Reviews on the ecological stoichiometry characteristics and its applications .....	ZENG Dongping, JIANG Liling, ZENG Congsheng, et al (5484)
Composition and fractal features of purple soil aggregates during the vegetation restoration processes in the Three Gorges Reservoir Region .....	WANG Yihao, GENG Yanghui, HUANG Zhonghua (5493)
Impacts of different surface covers on soil respiration in urban areas .....	FU Zhihong, HUYAN Jiaoqi, LI Feng, et al (5500)
Chilling sensitivities of three closely related plants with different invasiveness in South China .....	WANG Yutao, LI Chunmei, LI Shaoshan (5509)
The flower syndrome and pollination adaptation of desert rare species <i>Eremosparton songoricum</i> (litv.) Vass.(Fabaceae) .....	SHI Xiang, LIU Huiliang, ZHANG Daoyuan, et al (5516)
Competitive effect of <i>Pistia stratiotes</i> to rice and its impacts on rice yield and soil nutrients .....	SHEN Shicai, XU Gaofeng, ZHANG Fudou, et al (5523)
Photosynthetic physiological ecology characteristics of rare medicinal plants <i>Bletilla striata</i> .....	WU Mingkai, LIU Hai, SHEN Zhijun, et al (5531)
Photosynthetic responses to Solar UV radiation of <i>Gracilaria lemaneiformis</i> cultured under different temperatures and CO <sub>2</sub> concentrations .....	YANG Yuling, LI Wei, CHEN Weizhou, et al (5538)
The effect of soil oxygen availability on greenhouse gases emission in a double rice field .....	QIN Xiaobo, LI Yu'e, WAN Yunfan, et al (5546)
Effects of nitrogen management on NH <sub>3</sub> volatilization and nitrogen use efficiency under no-tillage paddy fields .....	MA Yuhua, LIU Bing, ZHANG Zhisheng, et al (5556)
Study on characteristics of net photosynthetic rate of two kinds of tree shape and Impact Factors in Korla fragrant pear .....	SUN Guili, XU Min, LI Jiang, et al (5565)
Effects of sand burial on growth, survival, photosynthetic and transpiration properties of <i>Agriophyllum squarrosum</i> seedlings .....	ZHAO Halin, QU Hao, ZHOU Ruilian, et al (5574)
Effects of using plastic film as mulch combined with bunch planting on soil temperature, moisture and yield of spring wheat in a semi-arid area in drylands of Gansu, China .....	WANG Hongli, SONG Shangyou, ZHANG Xucheng, et al (5580)
Study on soil aggregates stability of mulberry ridge in Rocky Desertification based on Le Bissonnais method .....	WANG Sanshu, HUANG Xianzhi, SHI Dongmei, et al (5589)
Effects of fertilization on nitrogen loss with different forms via runoff and seepage under <i>Phyllostachy praecox</i> stands .....	CHEN Peipei, WU Jiasen, ZHENG Xiaolong, et al (5599)
Characteristics of physiological groups of soil nitrogen-transforming microbes in different vegetation types in the Loess Gully region, China .....	XING Xiaoyi, HUANG Yimei, AN Shaoshan, et al (5608)
Effects of vegetation types on soil microbial biomass C, N, P on the Loess Hilly Area .....	ZHAO Tong, YAN Hao, JIANG Yueli, et al (5615)
Influence of mulching management on soil microbe and its relationship with soil nutrient in <i>Phyllostachys praecox</i> stand .....	GUO Ziwu, YU Wenxian, CHEN Shuanglin, et al (5623)
Effect of rainfall on the seasonal variation of soil respiration in Hulunber Meadow Steppe .....	WANG Xu, YAN Yuchun, YAN Ruirui, et al (5631)
Spatial heterogeneity of fine roots in a subtropical evergreen broad-leaved forest and their sampling strategy based on soil coring method .....	HUANG Chaochao, HUANG Jinxue, XIONG Decheng, et al (5636)
Changes of leaf traits and WUE with crown height of four tall tree species .....	HE Chunxia, LI Jiyue, MENG Ping, et al (5644)
Sap flow dynamics of <i>Populus alba</i> L.× <i>P.talassica</i> plantation in arid desert area .....	ZHANG Jun, LI Xiaofei, LI Jianguo, et al (5655)
Effects of simulated temperature increase and vary little quality on litter decomposition .....	LIU Ruipeng, MAO Zijun, LI Xinghuan, et al (5661)
The effects of leaf stoichiometric characters on litter turnover in an arid-hot valley of Jinsha River, China .....	YAN Bangguo, JI Zhonghua, HE Guangxiong, et al (5668)
Comparison of concentrations of non-structural carbohydrates between new twigs and old branches for 12 temperate species .....	ZHANG Haiyan, WANG Chuankuan, WANG Xingchang (5675)
Combined effects of root cutting, auxin application, and potassium fertilizer on growth, sugar, nicotine ratio, and organic potassium index of flue-cured tobacco .....	WU Yanhui, XUE Lixin, XU Zicheng, et al (5686)
Effects of photoperiod and high fat diet on energy intake and thermogenesis in female <i>Apodemus chevrieri</i> .....	GAO Wenrong, ZHU Wanlong, MENG Lihua, et al (5696)
Effects of dietary chlorogenic acid supplementation on antioxidant system and anti-low salinity of <i>Litopenaeus vannamei</i> .....	WANG Yun, LI Zheng, LI Jian, et al (5704)

- Responses of desert plant diversity, community and interspecific association to soil salinity gradient ..... ZHANG Xueni, LÜ Guanghui, YANG Xiaodong, et al (5714)
- Community characteristics in a chronosequence of karst vegetation in Mashan county, Guangxi ..... WEN Yuanguang, LEI Liquan, ZHU Hongguang, et al (5723)
- Association between environment and community of *Pinus taiwanensis* in Daiyun Mountain ..... LIU Jinfu, ZHU Dehuang, LAN Siren, et al (5731)
- The dynamics of soil fauna community during litter decomposition at different phenological stages in the subtropical evergreen broad-leaved forests in Sichuan basin ..... WANG Wenjun, YANG Wanqin, TAN Bo, et al (5737)
- Seasonal dynamics and content of soil labile organic carbon of mid-subtropical evergreen broadleaved forest during natural succession ..... FAN Yuexin, YANG Yusheng, YANG Zhijie, et al (5751)
- The stoichiometric characteristics of C, N, P for artificial plants and soil in the hinterland of Taklimakan Desert ..... LI Congjuan, LEI Jiaqiang, XU Xinwen, et al (5760)
- A preliminary investigation on the population and behavior of the Tundra Swan (*Cygnus columbianus*) in Poyang Lake ..... DAI Nianhua, SHAO Mingqin, JIANG Lihong, et al (5768)
- Effects of nutrient enrichment and fish stocking on succession and diversity of phytoplankton community ..... CHEN Chun, LI Sijia, XIAO Lijuan, HAN Boping (5777)
- The depositional environment and organic sediment component of Dagze Co, a saline lake in Tibet, China ..... LIU Shasha, JIA Qinxian, LIU Xifang, et al (5785)
- Spatiotemporal variation of interacting relationships among multiple provisioning and regulating services of Tibet grassland ecosystem ..... PAN Ying, XU Zengrang, YU Chengqun, et al (5794)
- Spatial distribution of dissolved amino acids in Lake Taihu, China ..... YAO Xin, ZHU Guangwei, GAO Guang, et al (5802)
- RS- and GIS-based study on ecological function regionalization in the Chaohu Lake Basin, Anhui Province, China ..... WANG Chuanhui, WU Li, WANG Xinyuan, et al (5808)
- Trends of spring maize phenophases and spatio-temporal responses to temperature in three provinces of Northeast China during the past 20 years ..... LI Zhengguo, YANG Peng, TANG Huajun, et al (5818)
- Species selection for landscape rehabilitation and their response to environmental factors in Poyang Lake wetlands ..... XIE Dongming, JIN Guohua, ZHOU Yangming, et al (5828)
- Temporal and spatial pattern of the phytoplankton biomass in the Pearl River Delta ..... WANG Chao, LI Xinhui, LAI Zini, et al (5835)
- Spatio-temporal dynamics of land use/land cover and its driving forces in Nanjing from 1995 to 2008 ..... JIA Baoquan, WANG Cheng, QIU Erfa (5848)
- Changes of organic carbon and its labile fractions in topsoil with altitude in subalpine-alpine area of southwestern China ..... QIN Jihong, WANG Qin, SUN Hui (5858)
- The carbon sink of urban forests and efficacy on offsetting energy carbon emissions from city in Guangzhou ..... ZHOU Jian, XIAO Rongbo, ZHUANG Changwei, et al (5865)
- Groundwater salt content change and its simulation based on machine learning model in hinterlands of Taklimakan Desert ..... FAN Jinglong, LIU Hailong, LEI Jiaqiang, et al (5874)
- Analysis of coordination degree between urban development and water resources potentials in arid oasis city ..... XIA Fuqiang, TANG Hong, YANG Degang, et al (5883)
- Constructing an assessment indices system to analyze integrated regional carrying capacity in the coastal zones: a case in Nantong ..... WEI Chao, YE Shufeng, GUO Zhongyang, et al (5893)
- Fish species diversity in Zhongjieshan Islands Marine Protected Area (MPA) ..... LIANG Jun, XU Hanxiang, WANG Weiding (5905)
- Distribution and long-term changes of net-phytoplankton in the tidal freshwater estuary of Changjiang during wet season ..... JIANG Zhibing, LIU Jingjing, LI Hongliang, et al (5917)
- Study of urban metabolic structure based on ecological network: a case study of Dalian ..... LIU Gengyuan, YANG Zhifeng, CHEN Bin, et al (5926)
- Factors influencing of residents' tolerance towards wild boar in and near nature reserve: Taking the Heilongjiang Fenghuangshan Nature Reserve as the example ..... XU Fei, CAI Tiju, JU Cunyong, et al (5935)
- Herdsmen's willingness to participate in ecological protection in Sanjiangyuan Region, China ..... LI Huimei, ZHANG Anlu, WANG Shan, et al (5943)
- Analysis of first flush in rainfall runoff in Shenyang urban city ..... LI Chunlin, LIU Miao, HU Yuanman, et al (5952)

# 《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 陈利顶 编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 18 期 (2013 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 18 (September, 2013)

**编 辑** 《生态学报》编辑部  
地址:北京海淀区双清路 18 号  
邮政编码:100085  
电话:(010)62941099  
www.ecologica.cn  
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

**主 编** 王如松

**主 管** 中国科学技术协会

**主 办** 中国生态学学会  
中国科学院生态环境研究中心  
地址:北京海淀区双清路 18 号  
邮政编码:100085

**出 版** 科 学 出 版 社  
地址:北京东黄城根北街 16 号  
邮政编码:100717

**印 刷** 北京北林印刷厂

**发 行** 科 学 出 版 社  
地址:东黄城根北街 16 号  
邮政编码:100717  
电话:(010)64034563  
E-mail: journal@cspg.net

**订 购** 全国各地邮局

**国外发行** 中国国际图书贸易总公司  
地址:北京 399 信箱  
邮政编码:100044

**广告经营** 京海工商广字第 8013 号  
**许 可 证**

**Edited** by Editorial board of  
ACTA ECOLOGICA SINICA  
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China  
Tel: (010)62941099  
www.ecologica.cn  
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

**Editor-in-chief** WANG Rusong

**Supervised** by China Association for Science and Technology

**Sponsored** by Ecological Society of China  
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS  
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

**Published** by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China

**Printed** by Beijing Bei Lin Printing House,  
Beijing 100083, China

**Distributed** by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North  
Street, Beijing 100717, China  
Tel: (010)64034563  
E-mail: journal@cspg.net

**Domestic** All Local Post Offices in China

**Foreign** China International Book Trading  
Corporation  
Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China



ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元