

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

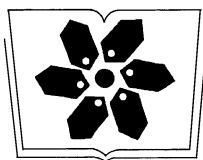
Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 23 期 Vol.32 No.23 **2012**

中国生态学学会
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 32 卷 第 23 期

2012 年 12 月 (半月刊)

目 次

中国石龙子母体孕期调温诱导幼体表型:母体操纵假说的实验检测	李 宏,周宗师,吴延庆,等 (7255)
同种或异种干扰对花鼠分散贮藏点选择的影响	申 圳,董 钟,曹令立,等 (7264)
曝气充氧条件下污染河道氨挥发特性模拟	刘 波,王文林,凌 芬,等 (7270)
贵州草海越冬斑头雁日间行为模式及环境因素对行为的影响	杨延峰,张国钢,陆 军,等 (7280)
青藏高原多年冻土区积雪对沼泽、草甸浅层土壤水热过程的影响	常 娟,王根绪,高永恒,等 (7289)
长沙城市斑块湿地资源的时空演变	恭映璧,靖 磊,彭 磊,等 (7302)
基于模型数据融合的干烟洲亚热带人工林碳水通量模拟	任小丽,何洪林,刘 敏,等 (7313)
农田氮素非点源污染控制的生态补偿标准——以江苏省宜兴市为例	张 印,周羽辰,孙 华 (7327)
用 PFU 微型生物群落监测技术评价化工废水的静态毒性	李朝霞,张玉国,梁慧星 (7336)
京郊农业生物循环系统生态经济能值评估——以密云尖岩村为例	周连第,胡艳霞,王亚芝,等 (7346)
基于遥感的夏季西安城市公园“冷效应”研究	冯晓刚,石 辉 (7355)
海南岛主要森林类型时空动态及关键驱动因子	王树东,欧阳志云,张翠萍,等 (7364)
不同播种时间对吉林省西部玉米绿水足迹的影响	秦丽杰,靳英华,段佩利 (7375)
黄土塬区不同品种玉米间作群体生长特征的动态变化	王小林,张岁岐,王淑庆,等 (7383)
密植条件下种植方式对夏玉米群体根冠特性及产量的影响	李宗新,陈源泉,王庆成,等 (7391)
沙地不同发育阶段的人工生物结皮对重金属的富集作用	徐 杰,敖艳青,张璟霞,等 (7402)
增强 UV-B 辐射和氮对谷子叶光合色素及非酶促保护物质的影响	方 兴,钟章成 (7411)
不同产地披针叶茴香光合特性对水分胁迫和复水的响应	曹永慧,周本智,陈双林,等 (7421)
芦芽山林线华北落叶松径向变化季节特征	董满宇,江 源,王明昌,等 (7430)
地形对植被生物量遥感反演的影响——以广州市为例	宋巍巍,管东生,王 刚 (7440)
指数施肥对楸树无性系生物量分配和根系形态的影响	王力朋,晏紫伊,李吉跃,等 (7452)
火烧伤害对兴安落叶松树干径向生长的影响	王晓春,鲁永现 (7463)
山地梨枣树耗水特征及模型	辛小桂,吴普特,汪有科,等 (7473)
两种常绿阔叶植物越冬光系统功能转变的特异性	钟传飞,张运涛,武晓颖,等 (7483)
干旱胁迫对银杏叶片光合系统 II 荧光特性的影响	魏晓东,陈国祥,施大伟,等 (7492)
神农架川金丝猴栖息地森林群落的数量分类与排序	李广良,丛 静,卢 慧,等 (7501)
碱性土壤盐化过程中阴离子对土壤中镉有效态和植物吸收镉的影响	王祖伟,弋良朋,高文燕,等 (7512)
两种绣线菊耐弱光能力的光合适应性	刘慧民,马艳丽,王柏臣,等 (7519)
闽楠人工林细根寿命及其影响因素	郑金兴,黄锦学,王珍珍,等 (7532)
旅游交通碳排放的空间结构与情景分析	肖 潇,张 捷,卢俊宇,等 (7540)
北京市妫水河流域人类活动的水文响应	刘玉明,张 静,武鹏飞,等 (7549)
膜下滴灌技术生态-经济与可持续性分析——以新疆玛纳斯河流域棉花为例	范文波,吴普特,马枫梅 (7559)
高温胁迫及其持续时间对棉蚜死亡和繁殖的影响	高桂珍,吕昭智,夏德萍,等 (7568)
桉树枝瘿姬小蜂虫瘿解剖特征与寄主叶片生理指标的变化	吴耀军,常明山,盛 双,等 (7576)
西南桦纯林与西南桦×红椎混交林碳贮量比较	何友均,覃 林,李智勇,等 (7586)
长沙城市森林土壤 7 种重金属含量特征及其潜在生态风险	方 晰,唐志娟,田大伦,等 (7595)
专论与综述	
城乡结合部人-环境系统关系研究综述	黄宝荣,张慧智 (7607)
陆地生态系统碳水通量贡献区评价综述	张 慧,申双和,温学发,等 (7622)



封面图说: 麋鹿群在过河——麋鹿属于鹿科,是中国的特有动物。历史上麋鹿曾经广布于东亚地区,到 19 世纪时,只剩下在北京南海子皇家猎苑内一群。1900 年,八国联军攻陷北京,麋鹿被抢劫一空。1901 年,英国的贝福特公爵用重金从法、德、荷、比四国收买了世界上仅有的 18 头麋鹿,以半野生的方式集中放养在乌邦寺庄园内,麋鹿这才免于绝灭。在世界动物保护组织的协调下,1985 年起麋鹿从英国分批回归家乡,放养到北京大兴南海子、江苏省大丰等地。这是在江苏省大丰麋鹿国家级自然保护区放养的麋鹿群正在过河。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201110231566

郑金兴, 黄锦学, 王珍珍, 熊德成, 杨智杰, 陈光水. 闽楠人工林细根寿命及其影响因素. 生态学报, 2012, 32(23): 7532-7539.

Zheng J X, Huang J X, Wang Z Z, Xiong D C, Yang Z J, Chen G S. Fine root longevity and controlling factors in a *Phoebe Bournei* plantation. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(23): 7532-7539.

闽楠人工林细根寿命及其影响因素

郑金兴¹, 黄锦学^{2,3}, 王珍珍^{2,3}, 熊德成^{2,3}, 杨智杰^{2,3}, 陈光水^{2,3,*}

(1. 福建林业职业技术学院 南平 353000; 2. 湿润亚热带山地生态省部共建国家重点实验室 福州 350007;

3. 福建师范大学地理科学学院 福州 350007)

摘要: 采用微根管技术对闽楠(*Phoebe bournei* (Hemsl.) Yang) 人工林细根生长动态进行了连续 2a 的观测, 通过 Kaplan-Meier 方法估计细根寿命, 使用对数秩检验(Log-rank test) 比较单一因素(细根直径、序级、出生季节和土层)对细根寿命的影响; 并分析细根化学性质对细根寿命的影响。结果表明: 出生季节极显著影响闽楠细根寿命($P < 0.01$), 细根主要在春季出生(82.36%), 夏季出生的细根平均寿命和中值寿命皆最长, 分别为(218±23)d 和(175±65)d; 土层对闽楠细根寿命的影响不显著($P > 0.05$), 下层(20—40 cm)细根平均寿命为(126±4)d 高于表层(0—20cm)的(116±5)d; 细根平均寿命随直径增大而极显著增大($P < 0.01$), 0—0.3 mm 的细根平均寿命为(109±4)d, 0.3—0.6 mm 的为(123±5)d, 0.6—1 mm 的为(139±11)d, 1—2 mm 的为(185±25)d。随着径级增大, 闽楠细根碳含量极显著增大($P < 0.01$), 氮含量极显著减小($P < 0.01$), 碳氮比极显著增大($P < 0.01$), 磷含量极显著减小($P < 0.01$)。细根平均寿命随序级增大亦显著增大($P < 0.05$), 其中一级根平均寿命和中值寿命分别为(120±4)d 和(89±1)d, 高级根的则为(137±7)d 和(123±1)d。以上结果表明闽楠细根寿命受到细根形态结构(直径和序级)、出生季节以及细根化学性质的影响。

关键词: 闽楠人工林; 细根; 寿命; 微根管

Fine root longevity and controlling factors in a *Phoebe Bournei* plantation

ZHENG Jinxing¹, HUANG Jinxue^{2,3}, WANG Zhenzhen^{2,3}, XIONG Decheng^{2,3}, YANG Zhijie^{2,3}, CHEN Guangshui^{2,3,*}

1 Fujian Forestry Vocational Technical College, Nanping 353000, China

2 State Key Laboratory of Humid Subtropical Montane Ecology, Fuzhou 350007, China

3 School of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China

Abstract: Fine roots (<2mm), as the most dynamic component of root system, play an important role in energy flow and nutrient cycling in the forest ecosystems, which send enormous carbon belowground through root turnover. Fine root survivorship in a plantation of *Phoebe bournei* (Hemsl.) Yang in Xihou, Wangtai, Fujian province, was monitored by the minirhizotron method for two consecutive years. Fine root longevity was estimated by the Kaplan-Meier method and differences among single factors, including root diameter (<0.3mm, 0.3—0.6mm, 0.6—1mm, 1—2mm), root order (first order, higher order), season of birth (spring, summer, autumn and winter), and soil depth (<20cm, 20—40cm), were tested by the Log-rank test. The chemical properties of different root diameter (<0.3mm, 0.3—0.6mm, 0.6—1mm, 1—2mm) were also determined. The objective of this study was to understand whether the more rapidly the fine roots grow, the shorter their lifespans. The mean and median root lifespans of *Phoebe bournei* (Hemsl.) Yang were (121±3)d and (89±1)d, respectively. Root growth was highly dynamic during the year, with 82.36% of new roots born in spring. Fine root longevity was significantly affected by the season of birth ($P < 0.01$); the mean and median lifespans were (218±23)d

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30972347)

收稿日期: 2011-10-23; 修订日期: 2012-09-26

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

and (175 ± 65) d for roots born in summer, (121 ± 3) d and (89 ± 1) d for those born in spring, and (93 ± 3) d and (46 ± 6) d for those born in autumn and winter, respectively. While soil depth had no significant effect on the median fine-root longevity ((89 ± 3) d and (89 ± 2) d respectively in the lower and upper soil layer) ($P > 0.05$), mean root lifespan in the lower layer ((126 ± 4) d) was higher than that in the upper layer ((116 ± 5) d). Mean root lifespan increased significantly with root diameter ($P < 0.01$); the mean root lifespan was (109 ± 4) d, (123 ± 5) d, (139 ± 11) d and (185 ± 25) d, and the median root lifespan was (89 ± 0) d, (89 ± 1) d, (123 ± 13) d and (130 ± 13) d, respectively, for root diameter classes of < 0.3 mm, $0.3—0.6$ mm, $0.6—1$ mm and $1—2$ mm. Root lifespan was significantly affected by root order ($P < 0.05$). Mean root lifespan and median root lifespan of the first root order were (120 ± 4) d and (89 ± 1) d, respectively, while those of the higher order were (137 ± 7) d and (123 ± 1) d, respectively. The root carbon content ranged from 455.2 g/kg to 475.6 g/kg and the root C/N ratio ranged from 20.04 to 42.62, both increased significantly with root diameter ($P < 0.01$). Whereas, both the nitrogen (from 11.16 g/kg to 22.71 g/kg) and phosphorus content (from 0.38 g/kg to 0.97 g/kg) were decreased significantly with root diameter ($P < 0.01$). It is evidenced from the above that the smaller the root diameter, the higher the root physiological activity, and the shorter the root lifespan. It's concluded that the fine-root longevity of the *Phoebe bournei* (Hemsl.) plantation was affected by the morphological (root diameter and root order) and chemical traits, and the season of birth.

Key Words: *Phoebe bournei* (Hemsl.) Yang; fine root; longevity; minirhizotrons

细根 (< 2 mm) 是根系中重要的组成部分, 作为植物吸收水分和养分的重要器官, 处于不断的生长、衰老、死亡、分解的动态之中。虽然细根只占根系总生物量的 3%—30%^[1], 但是它可以通过周转向地下输入大量的碳^[2]。树木对光合产物的地下分配^[3]以及生态系统中养分的循环过程^[4]中均受到细根寿命长短的影响。因此, 精确估计细根寿命对研究森林生态系统的能量流动和物质循环具有重要意义。微根管技术, 是一种非破坏性野外观察细根动态的方法^[5], 能够在不干扰细根生命过程的前提下, 连续观测细根的生长、衰老和死亡, 可以更为精确地估计细根寿命。

中亚热带作为“回归带上的绿洲”, 是一个典型的生态过渡带。而目前对中亚热带树种细根寿命的研究还比较匮乏, 仅研究了杉木^[6]以及米槠和细柄阿丁枫^[7]。闽楠 (*Phoebe bournei* (Hemsl.) Yang) 作为国家Ⅱ级重点保护野生植物, 星散分布于中亚热带常绿阔叶林地, 其树干高大通直、木材芳香耐久、纹理结构美观, 为上乘建材, 现已渐为濒危种。处于青年期的闽楠生长较快, 细根在生长过程中从土壤中不断吸收养分和水分, 在迅速生长情况下细根是否表现生长迅速, 细根寿命是否更短。本研究通过微根管技术观测 2007—2009 年闽楠细根的生长和死亡状况, 估计细根寿命以及研究影响细根寿命的因素同时确定这些因素的影响程度, 以期为闽楠人工林生态系统碳氮循环提供基础数据, 并为其园林种植和保护提供一定的科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于福建省南平市王台镇溪后村 ($26^{\circ}28'N$, $117^{\circ}57'E$), 属中亚热带季风气候, 年平均气温 $19.3^{\circ}C$, 年均降水量 1669 mm, 降雨多集中在 3—8 月, 年均蒸发量 1413 mm, 相对湿度为 83%。土壤是由燕山晚期白云母化中细粒花岗岩发育的山地暗红壤, 土壤厚度在 100 cm 以上, 土壤表层疏松, 但均含有一定量的石砾, 质地为砾质轻壤土。闽楠人工林为 1972 年采用 1 年生苗木营造, 调查时林龄为 35 年生, 密度 1624 株/hm², 林分郁闭度 0.9, 平均胸径 19.4 cm, 平均树高 18.0 m。灌木层生物量为 2.185 t/hm², 草本层生物量为 0.194 t/hm², 枯枝落叶层现存量为 5.920 t/hm²。试验期内试验地月均温和降水量见图 1, 土壤基本理化性质见表 1。

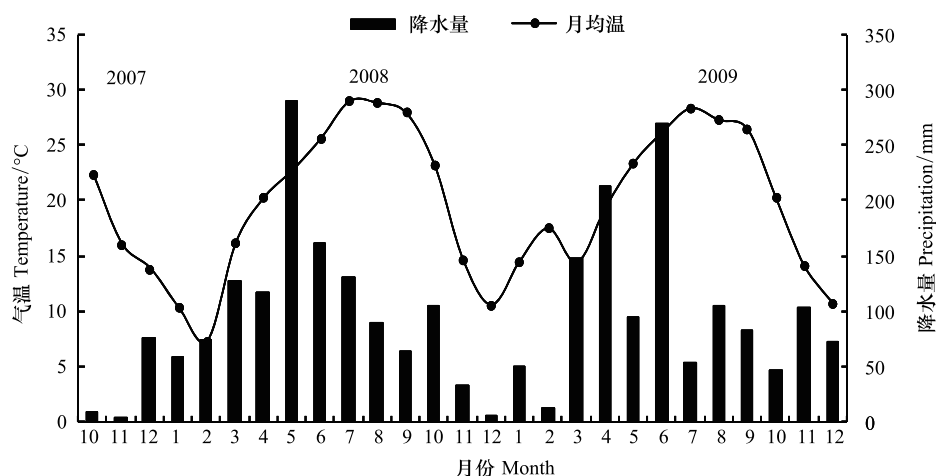


图1 试验期内试验地月均温和降水量

Fig. 1 Mean monthly air temperature and precipitation in research time

表1 闽楠人工林土壤基本理化性质

Table 1 physiochemical properties of soil in *Phoebe bournei*

土壤深度/cm Soil depth	土壤有机质/(g/kg) Soil organic	含水量/% Soil water content	体积质量/(g/cm ³) Volume weight	总孔隙度/% Soil porosity
0—20	33.54	28.69	0.97	55.40
20—40	14.66	28.00	1.02	48.65

1.2 研究方法

1.2.1 仪器安装

2007年5月,在闽楠人工林中布设3个20 m×20 m的固定标准地,在每块标准地内随机安装5根由PVC(聚氯乙烯)材料制成的透明圆形管(微根管),共安装15个微根管,管口钻两个孔,两孔呈180°(用于采集图片时固定仪器)。微根管内径为5 cm,长度为1 m。微根管的安装与地面成45°,插入长度约为70—75 cm(垂直深度50—53 cm左右),露出地表的微根管部分用定制的橡胶塞子塞好,再用黑色胶布缠绕,以防光线透入,然后用浅色胶布覆盖防止水或杂物进入管内,管与地表接触部分用枯落物覆盖以尽量维持土壤的原状环境^[8]。

1.2.2 根系影像收集及数据处理

从2007年10月到2009年12月对根系进行为期2年多的连续性观测取样。每月下旬用微根管袖珍影像成像系统(美国Bartz技术公司生产)对同一位置的根系生长过程进行影像收集,图片实际大小为1.4 cm×1.8 cm,每根管收集40—45个左右的图片。图像带回实验室使用根系分析系统WinRHIZO TRON MF 2005a图像分析软件对图像进行处理,获得相关数据(根长、根径、细根出生土层等),同时将白色根和棕色根定义为活根,黑色根、皮层脱落或表皮褶皱的根定义为死根,并将数据按照微根管号、取样时间、细根编号等建立数据库,以便于数据分析。

本研究中考察影响细根寿命的因素包括细根直径、序级、出生季节和土层。具体而言,将观测到细根直径将其划分为4个等级,即0—0.3 mm、0.3—0.6 mm、0.6—1 mm以及1—2 mm;根据Wells^[8]对根系分枝的研究对根序进行分级,将影像中明显的不具有独立侧根的细根定义为一根,将明显可见的具有一组独立侧根的细根定义为二级根,将二级根上生长的细根称为三级根,依此类推。由于本研究中获得三级以上细根数量较少,故将一级根以外的更高级别的细根统称为高级根。根据中亚热带气候情况,将细根出生季节分为春季(3、4、5月),夏季(6、7、8月),秋季(9、10、11月),冬季(12、1、2月),由于秋季和冬季获得的细根样本数较少,故将两个季节合并;根据微根管垂直观测深度,将细根出生深度分为表层(0—20 cm)、下层(20—40 cm)两个层次。

1.2.3 细根碳、氮含量以及磷含量测定

2009 年 7 月, 分别在闽楠人工林 3 个样地中采样, 采样时选取闽楠胸径大小相近的 3 棵成年树, 采用挖掘法在每棵树树干基部 1—1.5 m 范围用铁铲挖取土块, 将包含在里面的所有根段全部取出。采集后立即带回实验室, 用低温去离子水分别清理掉根表面上的土壤和杂质, 并按照直径 <0.3 mm, $0.3—0.6$ mm, $0.6—1$ mm 以及 $1—2$ mm 进行分级, 将分级好的细根放入 65°C 烘箱烘至恒重, 并测定细根碳含量、氮含量以及磷含量。其中碳、氮含量采用碳氮元素分析仪测定, 磷含量采用钼锑抗比色法。

1.3 数据处理与分析

主要采用统计软件 SPSS 13.0 中的 Kaplan-Meier 方法进行生存分析, 计算细根平均寿命、中值寿命以及累积存活率。由于细根寿命是非正态分布, 因此采用对数秩检验 (log-rank test) 检验比较单一因素包括细根直径等级 (<0.3 mm, $0.3—0.6$ mm, $0.6—1$ mm 以及 $1—2$ mm)、根序等级 (一级根和高级根)、土层 ($0—20$ cm 和 $20—40$ cm) 以及出生季节 (春、夏、秋、冬) 对细根存活率曲线的影响; 采用 One-way ANOVA 单因素方差分析细根化学性质与径级的关系, 并利用 Excel 做图表。

2 结果与分析

从 2007 年 10 月 30 日的首次观测到 2009 年 12 月 24 日结束, 微根管观测到的细根总数有 907 个。影像中所观测到的细根直径范围为 $0.035—2.94$ mm, 其中 >2 mm 的细根共观测到 17 个, 本研究中仅分析直径在 $0—2$ mm 的细根, 即分析的细根总数为 890 个。闽楠细根平均直径为 (0.42 ± 0.30) mm; $0—1$ mm 直径细根占细根总数的 94.7%, 其中细根直径在 $0—0.3$ mm, $0.3—0.6$ mm, $0.6—1$ mm 所占的比例分别为 41.8%, 40.9% 和 12.0%, 而 $1—2$ mm 的细根仅占了细根总数的 5.3%。低级根共观测到 792 个, 占到细根总数 90% 左右。土壤表层 ($0—20$ cm) 观测到细根数量共计 367 个, 下层 ($20—40$ cm) 为 523 个, 下层闽楠细根数量是表层细根的 1.4 倍。闽楠细根主要出生在春季, 达到细根总数的 82.36%; 其次为夏季 (占 8.00%)。

2.1 闽楠人工林细根寿命及其影响因素

细根的死亡率随着细根出生后时间的延长而逐渐增加, 累积存活率逐渐下降 (图 2)。细根的平均寿命为 (121 ± 3) d, 中值寿命为 (89 ± 1) d。

2.1.1 出生季节

出生季节极显著影响闽楠细根寿命 ($P<0.01$), 且不同季节出生的细根存活曲线两两之间均呈现极显著性差异 ($P<0.01$, 图 3)。夏季出生的细根中值寿命最长, 达到 (175 ± 65) d, 秋冬季节出生细根寿命最短, 为 (46 ± 6) d, 而春季出生细根介于前两者之间, 为 (89 ± 1) d。细根的平均寿命与细根中值寿命趋势相似, 亦表现

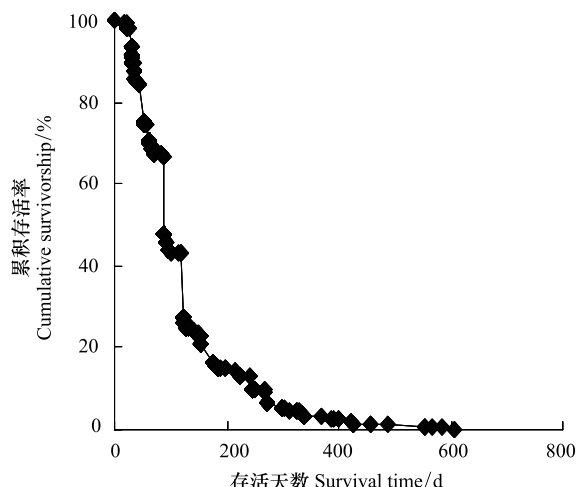


图 2 闽楠人工林细根寿命

Fig. 2 Fine root longevity of *Phoebe bournei*

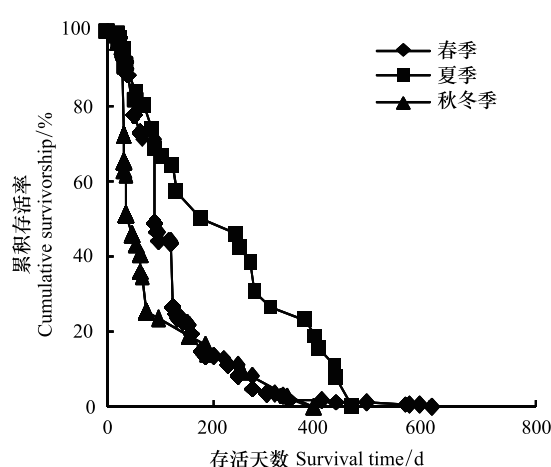


图 3 出生季节对闽楠细根寿命的影响

Fig. 3 The effect of season of birth on fine-root longevity in *Phoebe bournei*

出夏季(218 ± 23)d>春季(121 ± 3)d>秋冬季(93 ± 3)d。

2.1.2 土层

土层对闽楠细根寿命的影响不显著($P>0.05$)。表层(0—20cm)细根中值寿命为(89 ± 3)d(图4),下层(20—40cm)的为(89 ± 2)d(图4);平均寿命则分别为(116 ± 5)d和(126 ± 4)d,下层细根平均寿命大于上层。

2.1.3 细根形态结构与化学性质

细根平均寿命呈现随直径增大而极显著增大($P<0.01$),0—0.3mm的平均寿命为(109 ± 4)d,0.3—0.6mm的为(123 ± 5)d,0.6—1mm的为(139 ± 11)d,1—2mm的为(185 ± 25)d。而细根中值寿命则分别为(89 ± 0)d、(89 ± 1)d、(123 ± 13)d以及(130 ± 13)d(图5)。细根平均寿命随序级增大亦显著增大($P<0.05$),其中一级根平均寿命和中值寿命分别为(120 ± 4)d和(89 ± 1)d(图5),高级根(137 ± 7)d和(123 ± 1)d(图5)。

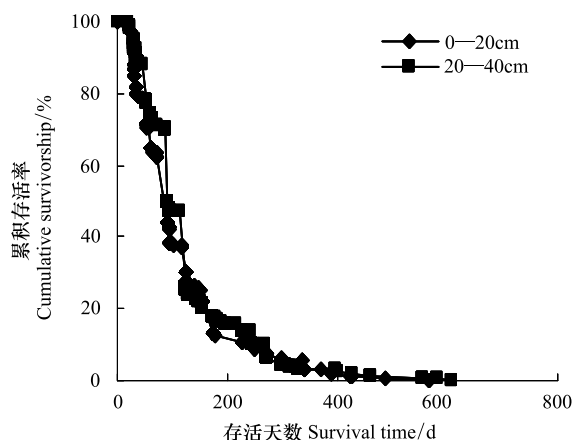


图4 土层对闽楠细根寿命的影响

Fig.4 The effect of soil depth on root longevity in *Phoebe bournei*

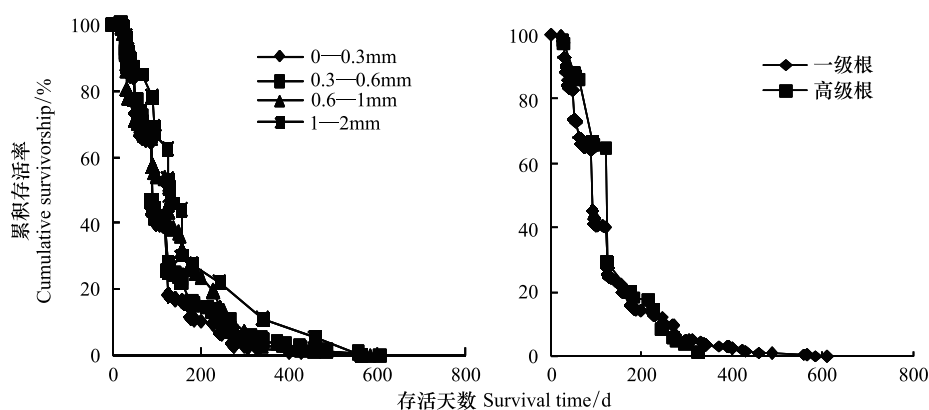


图5 径级和序级对闽楠细根寿命的影响

Fig.5 The effect of the class of diameter and root order on fine root longevity in *Phoebe bournei*

随着径级增大,闽楠细根碳含量极显著增大($P<0.01$),碳含量在455.2—475.6g/kg(图6),氮含量极显著减小($P<0.01$),氮含量在11.16—22.71g/kg(图6),碳氮比极显著增大($P<0.01$),碳氮比在20.04—42.62(图6),磷含量极显著减小($P<0.01$),磷含量在0.38—0.97g/kg(图6)。

3 讨论

本研究结果显示:35年生阔叶树种闽楠细根中值寿命为(89 ± 1)d,与同一立地条件下的针叶树种杉木人工林^[6]细根寿命相比(18a杉木和90a杉木细根中值寿命分别为(215 ± 17)d和(230 ± 15)d),闽楠人工林细根寿命较短,仅是其细根寿命的五分之二左右。而与中亚热带的阔叶树种细柄阿丁枫和米槠^[7]相比(细柄阿丁枫(*Altingia grilipes*)和米槠(*Castanopsis carlesii*)细根中值寿命分别为(184 ± 9)d和(212 ± 8)d),也仅分别是其细根寿命的二分之一和五分之二左右。闽楠幼年生长慢,青年生长快^[9],本研究中35年生闽楠人工林处于青年期,正是迅速生长时期,而细柄阿丁枫群落和米槠群落^[7]其树龄都超过了100a,90a杉木^[6]树龄亦达到了90a,生长缓慢。Eissenstat和Yanai^[10]通过比较不同树种细根寿命发现,生长快的树种细根寿命一般较短,本研究结果支持了这一观点。闽楠与18a杉木^[6]均位于同一立地条件下,气候变化一致,闽楠细根寿命小于18a杉木^[6],这可能主要由于树种差异的影响造成。Eissenstat和Yanai^[10]认为,树种间细根寿命存在差异的原因是多方面的,主要包括基因遗传和树木本身的生理状况(如林分年龄、根系年龄、真菌侵染类型和根系的

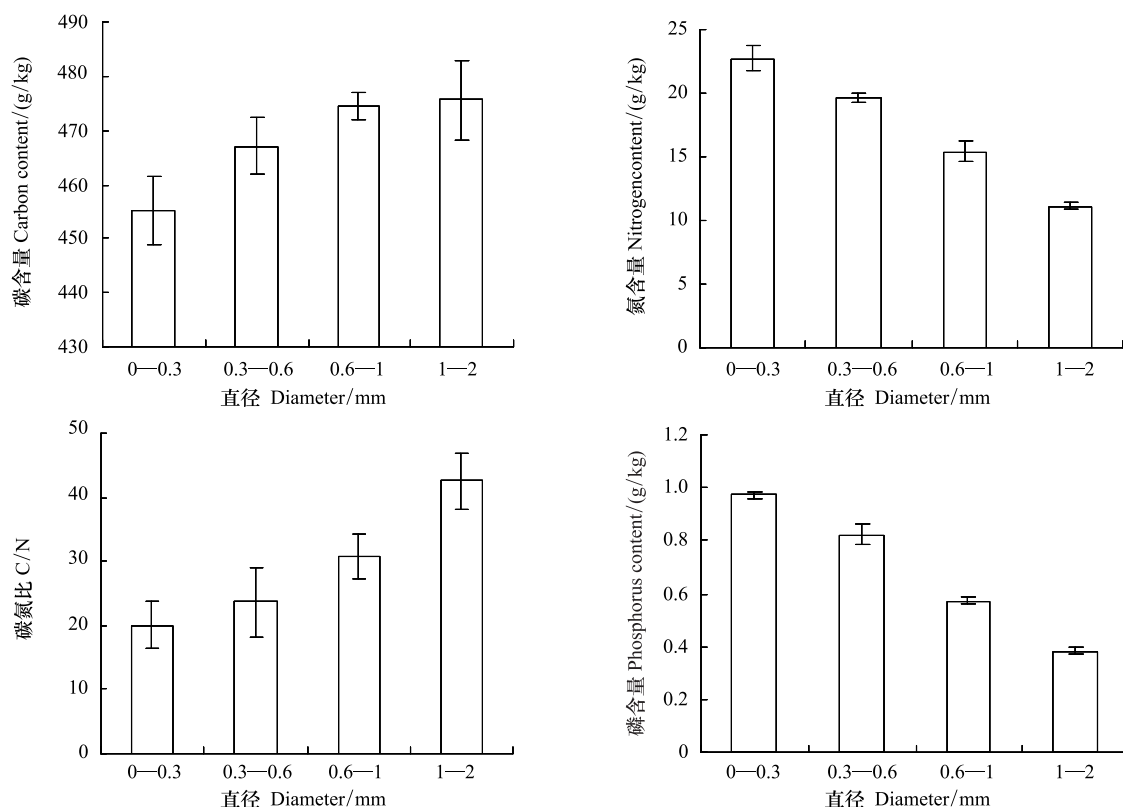


图6 闽楠细根不同径级碳含量、氮含量、碳氮比以及磷含量的分布

Fig. 6 Distribution of C, N, C/N and P in different class of diameter in *Phoebe bournei*

生理结构)等。

闽楠细根主要出生于春季,占总细根的 82.36%,这与 Burton 等^[11]用微根管对糖槭细根的研究结果一致,其研究结果显示大部分细根主要出生于春季和初夏,冬季新根出生数量最少(不到 5%)。Steele 等^[12]研究表明温带针叶林细根生长峰值出现在春季或者夏季,取决于树种和当地气候条件。不同植物种的根系都有其自身的生命周期和生长过程,由于水热条件的变化,细根出生和死亡就存在一定的季节规律。春季气候回暖,雨水充沛(图 1),适宜细根的生长。就细根寿命而言,闽楠夏季出生的细根寿命最长,其次是春季出生的,最小为秋冬季出生的。这与黄锦学等^[7]的研究结果不同,其研究结果显示细柄阿丁枫和米槭夏季出生的细根均显著小于春季和秋季的,闽楠人工林与细柄阿丁枫群落以及米槭群落同属中亚热带气候区,它们的细根对不同季节的响应表现出不同的寿命,产生这一差异可能主要与研究的树种不同有关。夏季较高的土壤温度导致细根维持消耗增加,但是夏季是植物生长旺盛时期,这一时期细根可以获得大量碳水化合物的供应,以及构建根系的消耗可能远远超过维持消耗,而闽楠为了获得最大的投入产出比,延长细根寿命^[13]。春季出生的细根寿命较短,可能由过冬后植物细根中碳水化合物水平较低造成。本研究中秋冬季出生的闽楠细根寿命短,主要可能由于秋冬季降水少引起,Joslin 等^[14]的研究就发现干旱会导致细根寿命缩短。

闽楠细根出生数量下层 20—40 cm 的比表层 0—20 cm 的多,这与凌华^[15]采用微根管对细柄阿丁枫群落细根寿命的研究结果相似,其结果显示细柄阿丁枫群落土层 20—40 cm 细根数量大于表层,为表层的 2 倍多。而以往研究表明,细根多集中分布于表土层^[16]。郭忠玲等^[17]对长白山几种主要森林群落木本植物细根生物量的研究表明其所调查群落 72% 以上的细根均集中在土壤表层 0—10 cm 的范围内。产生这一差异可能主要与所使用的研究方法有关,本研究 and 凌华等^[15]所采用的是微根管,而郭忠玲等^[17]所采用的是土钻法,Jose 等^[18]的研究表明使用微根管法会低估土壤表层的细根。也有研究就表明些树种细根垂直变化不明显或中下部土层分布较多^[15,19]。除此之外,产生这一差异也可能与采用的细根属性不同有关,本研究和凌华

等^[15]使用细根数量,郭忠玲等^[17]所采用的是细根生物量,黄锦学等^[7]的研究就表明采用细根数量对估计细根分布存在较大偏差。

土层对闽楠细根寿命的影响不显著($P>0.05$),下层细根平均寿命略大于表层而中值寿命相近。于水强曾报道在生长季土壤温度随土壤加深而降低^[20],可能是上层细根寿命较短的主要环境因素,表层的土壤温度最易受大气温度的影响,表层(5 cm)温度的季节变幅为 16.5 °C,而下层(40 cm)的变幅为 11.8 °C,且表层的隔热作用和下层相对恒定的水分含量也有利于防止强烈的温度变化及水分损失对细根造成的影响^[21]。土壤资源的垂直分布规律是导致生长在不同土壤深度的细根寿命具有较大差异的原因^[11],细根寿命一般随土层深度的增加而不断增加^[22]。目前对于有关细根寿命随土层变化的机理仍不清楚,但可以肯定的是深层土壤温度和湿度波动较小,细根受到病原体和植食性动物的压力也较小^[13]。

以往的细根研究中,大多数研究者将直径 ≤ 2 mm 的根系看作是在结构和生理功能均匀一致的同质单元^[10],这种细根的研究方法忽略了细根的异质性及细根形态特征与生理功能上的相关性^[23]。近年来的一些研究表明,在直径 ≤ 2 mm 的根系中,细根功能存在很大的异质性^[23-24]。Baddeley 和 Watson^[25]研究表明,直径 <0.5 mm 和 0.3 mm 的细根分别占总根量的 89% 和 68%,且在一些树种中,几乎全部细根直径都 <0.3 mm,而本次实验研究结果直径 <1 mm 的细根占总根数的 94.7%。本研究结果显示随着径级的增大,细根平均寿命极显著增大($P<0.01$)。直径作为根系形态的重要指标之一,对寿命有很大的影响。这与 Baddeley 和 Watson^[25]以及 Wells 和 Eissenstat^[26]的研究结果一致。Baddeley 和 Watson^[25]发现,根系直径每增加 0.1 mm,细根死亡率就下降 16%;Wells 和 Eissenstat^[26]对苹果树细根寿命研究表明,细根中值寿命随细根直径的增加而延长,直径为 0.1—0.2 mm、0.2—0.3 mm、0.3—0.5 mm 和 0.5—1.1 mm 的细根中值寿命分别为 34、36、97 d 和大于 211d。闽楠细根寿命随序级增大显著增大($P<0.05$),Guo 等^[27]研究结果亦显示高级根与低级根相比寿命更长。随细根直径变化,细根的生理生化特性变化,是细根寿命发生变化的主要原因。直径越小的根,N 的浓度较高^[28],细根呼吸速率增加,且细根非木质化程度高,被土壤小动物取食的概率增加,因而寿命较短。而生长在根系末端的一级根,通常伴随着细根直径小^[27]的特点,同样具有木质化程度较低,N 浓度高和呼吸速率高^[29]等特点,主要生理功能是吸收养分和水分,最容易死亡,而高级根序的细根木质化程度较高,N 浓度低^[27],主要起运输作用,寿命较长^[30]。本研究中随着径级增大,细根寿命延长,直径与细根寿命呈正相关,同时碳含量随径级极显著增大($P<0.01$),氮含量极显著减小($P<0.01$),碳氮比极显著增大($P<0.01$),这支持了以上的观点。闽楠细根的 P 含量随着细根径级的增加而减少,即直径越小 P 含量越高,这与福建柏和杉木人工林的活细根和死细根的 N、P 养分含量的规律是一致的^[31],这些均表明直径越小的细根生理活性越强,维持生长消耗更大,寿命更短。

References:

- [1] 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.
- [2] Ryan M G, Lavigne M B, Gower S T. Annual carbon cost of autotrophic respiration in boreal forest ecosystems in relation to species and climate. *Journal of Geophysical Research*, 1997, 102(D24): 28871-28883.
- [3] Gill R A, Jackson R B. Global patterns of root turnover for terrestrial ecosystems. *New Phytologist*, 2000, 147(1): 13-31.
- [4] Norby R J, Jackson R B. Root dynamics and global change: seeking an ecosystem perspective. *New Phytologist*, 2000, 147(1): 3-12.
- [5] Johnson M G, Phillips D L, Tingey D T, Storm M J. Effects of elevated CO₂, N-fertilization, and season on survival of ponderosa pine fine roots. *Canadian Journal for Research*, 2000, 30: 220-228.
- [6] Ling H, Yuan Y D, Yang Z J, Huang J X, Chen G S, Yang Y S. Influencing factors of fine root lifespans in two Chinese fir plantations in subtropical China. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 31(4): 1130-1138.
- [7] Huang J X, Ling H, Yang Z J, Lu Z L, Xiong D C, Chen G S, Yang Y S. Fine root longevity and controlling factors in subtropical *Altingia grilipes* and *Castanopsis carlesii* forests. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(6): 1932-1942.
- [8] Wells C E, Glenn D M, Eissenstat D M. Changes in the risk of fine-root mortality with age: a case study in peach, *Prunus persica* (Rosaceae). *American Journal of Botany*, 2002, 89(1): 79-87.

- [9] Jiang H M, Xiao F M, Ye J S, Gong B. A study on the growth characteristics of *Phoebe bournei* in natural forest and plantation stands. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2009, 31(6): 1049-1054.
- [10] Eissenstat D M, Yanai R D. Root life span, efficiency, and turnover // Waisel Y, Eshel A, Kafkafi U, eds. *Plant Roots: The Hidden Half*. 3rd ed. New York: Marcel Dekker, 2002: 221-238.
- [11] Burton A J, Pregitzer K S, Hendrick R L. Relationships between fine root dynamics and nitrogen availability in Michigan Northern hardwood forests. *Oecologia*, 2000, 125(3): 389-399.
- [12] Steele S J, Gower S T, Vogel J G, Norman J M. Root mass, net primary production and turnover in aspen, jack pine and black spruce forests in Saskatchewan and Manitoba, Canada. *Tree Physiology*, 1997, 17(8/9): 577-587.
- [13] Eissenstat D M, Yanai R D. The ecology of root lifespan. *Advances in Ecological Research*, 1997, 27: 1-60.
- [14] Joslin J D, Wolfe M H, Hanson P J. Effects of altered water regimes on forest root systems. *New Phytologist*, 2000, 147(1): 117-129.
- [15] Ling H. *Fine Root Longevities of Two Subtropical Evergreen Broad-Leaved Forests* [D]. Fuzhou: Fujian Normal University, 2010.
- [16] Fahey T J, Hughes J W, Pu M, Arthur M A. Root decomposition and nutrient flux following whole-tree harvest of northern hardwood forest. *Forest Science*, 1988, 34(3): 744-768.
- [17] Guo Z L, Zheng J P, Ma Y D, Han S J, Li Q K, Yu G R, Fan C N, Liu W D, Shao D S. A preliminary study on fine root biomass and dynamics of woody plants in several major forest communities of Changbai Mountain, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(9): 2855-2862.
- [18] Jose S, Gillespie A R, Seifert J R, Pope P E. Comparison of minirhizotron and soil core methods for quantifying root biomass in a temperate alley cropping system. *Agroforestry Systems*, 2001, 50(2): 161-168.
- [19] Toky O P, Bisht R P. Observations on the rooting patterns of some agroforestry trees in an arid region of North-western India. *Agroforestry Systems*, 1992, 18(3): 245-263.
- [20] Yu S Q. *Estimation of Fine Root Lifespan for Manchurian Ash and Davurian Larch* [D]. Haerbin: Northeast Forestry University, 2006.
- [21] Schoettle A W, Fahey T J. Foliage and fine root longevity of pines. *Ecological Bulletins*, 1994, 43: 136-153.
- [22] López B, Sabaté S, Gracia C. Fine roots dynamics in a Mediterranean forest: effects of drought and stem density. *Tree Physiology*, 1998, 18(8/9): 601-606.
- [23] Bloomfield J K, Vogt K A, Wargo P M. Tree root turnover and senescence // Waisel Y, Eshel A, Kafkafi U, eds. *Plant Roots: the Hidden Half*. 2nd ed. NY: Marcel Dekker, 1996: 363-381.
- [24] Zhang X Q. Fine-root biomass, production and turnover of trees in relations to environmental conditions. *Forest Research*, 2001, 11(5): 566-573.
- [25] Baddeley J A, Watson C A. Influences of root diameter, tree age, soil depth and season on fine root survivorship in *Prunus avium*. *Plant and Soil*, 2005, 276(1/2): 15-22.
- [26] Wells C E, Eissenstat D M. Marked differences in survivorship among apple roots of different diameters. *Ecology*, 2001, 82(3): 882-892.
- [27] 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.
- [28] Gordon W S, Jackson R B. Nutrient concentrations in fine roots. *Ecology*, 2000, 81(1): 275-280.
- [29] Pregitzer K S, Kubiske M E, Yu C K. Relationships among root branch order, carbon, and nitrogen in four temperate species. *Oecologia*, 1997, 111(3): 302-308.
- [30] Mei L, Wang Z Q, Cheng Y H, Guo D L. A review: factors influencing fine root longevity in forest ecosystems. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(5): 704-710.
- [31] Jiang Z K. Dynamics of N and P concentrations in fine roots of plantations of *Fokienia hodginsii* and *Cunninghamia lanceolata*. *Journal of Fujian Normal University: Natural Science Edition*, 2006, 22(4): 107-111.

参考文献:

- [6] 凌华, 袁一丁, 杨智杰, 黄锦学, 陈光水, 杨玉盛. 杉木人工林细根寿命的影响因素. *生态学报*, 2009, 31(4): 1130-1138.
- [7] 黄锦学, 凌华, 杨智杰, 卢正立, 熊德成, 陈光水, 杨玉盛. 细柄阿丁枫和米槠细根寿命影响因素. *生态学报*, 2012, 32(6): 1932-1942.
- [9] 江香梅, 肖复明, 叶金山, 龚斌. 闽楠天然林与人工林生长特性研究. *江西农业大学学报*, 2009, 31(6): 1049-1054.
- [15] 凌华. 中亚热带两种常绿阔叶林群落细根寿命估计 [D]. 福州: 福建师范大学, 2010.
- [17] 郭忠玲, 郑金萍, 马元丹, 韩士杰, 李庆康, 于贵瑞, 范春楠, 刘万德, 邵殿坤. 长白山几种主要森林群落木本植物细根生物量及其动态. *生态学报*, 2006, 26(9): 2855-2862.
- [20] 于水强. 水曲柳和落叶松细根寿命的估计 [D]. 哈尔滨市: 东北林业大学, 2006.
- [24] 张小全. 环境因子对树木细根生物量、生产与周转的影响. *林业科学研究*, 2001, 11(5): 566-573.
- [30] 梅莉, 王政权, 程云环, 郭大立. 林木细根寿命及其影响因子研究进展. *植物生态学报*, 2004, 28(4): 704-710.
- [31] 蒋宗培. 福建柏和杉木人工林细根 N、P 养分含量动态. *福建师范大学学报: 自然科学版*, 2006, 22(4): 107-111.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 23 December, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Maternal thermoregulation during gestation affects the phenotype of hatchling Chinese skinks (<i>Eumeces chinensis</i>): testing the maternal manipulation hypothesis	LI Hong, ZHOU Zongshi, WU Yanqing, et al (7255)
Effects of conspecific and interspecific interference competitions on cache site selection of Siberian chipmunks (<i>Tamias sibiricus</i>)	SHEN Zhen, DONG Zhong, CAO Lingli, et al (7264)
Characterization of ammonia volatilization from polluted river under aeration conditions: a simulation study	LIU Bo, WANG Wenlin, LING Fen, et al (7270)
Diurnal activity patterns and environmental factors on behaviors of Bar-headed Geese <i>Anser indicus</i> wintering at Caohai Lake of Guizhou, China	YANG Yanfeng, ZHANG Guogang, LU Jun, et al (7280)
Impacts of snow cover change on soil water-heat processes of swamp and meadow in Permafrost Region, Qinghai-Tibetan Plateau	CHANG Juan, WANG Gengxu, GAO Yongheng, et al (7289)
Spatial-temporal changes of urban patch wetlands in Changsha, China	GONG Yingbi, JING Lei, PENG Lei, et al (7302)
Modeling of carbon and water fluxes of Qianyanzhou subtropical coniferous plantation using model-data fusion approach	REN Xiaoli, HE Honglin, LIU Min, et al (7313)
Ecological compensation standard for controlling nitrogen non-point pollution from farmland: a case study of Yixing City in Jiang Su Province	ZHANG Yin, ZHOU Yuchen, SUN Hua (7327)
Static toxicity evaluation of chemical wastewater by PFU microbial communities method	LI Zhaoxia, ZHANG Yuguo, LIANG Huixing (7336)
Emergy evaluation of an agro-circulation system in Beijing suburb: take Jianyan village as a case study	ZHOU Liandi, HU Yanxia, WANG Yazhi, et al (7346)
Research on the cooling effect of Xi'an parks in summer based on remote sensing	FENG Xiaogang, SHI Hui (7355)
The dynamics of spatial and temporal changes to forested land and key factors driving change on Hainan Island	WANG Shudong, OUYANG Zhiyun, ZHANG Cuiping, et al (7364)
Impact of different sowing dates on green water footprint of maize in western Jilin Province	QIN Lijie, JIN Yinghua, DUAN Peili (7375)
The dynamic variation of maize (<i>Setaria mays</i> L.) population growth characteristics under cultivars-intercropped on the Loess Plateau	WANG Xiaolin, ZHANG Suiqi, WANG Shuqing, et al (7383)
Effect of different planting methods on root-shoot characteristics and grain yield of summer maize under high densities	LI Zongxin, CHEN Yuanquan, WANG Qingcheng, et al (7391)
Heavy metal contaminant in development process of artificial biological Soil Crusts in sand-land	XU Jie, AO Yanqing, ZHANG Jingxia, et al (7402)
Effects of enhanced UV-B radiation and nitrogen on photosynthetic pigments and non-enzymatic protection system in leaves of foxtail millet (<i>Setaria italica</i> (L.) Beauv.)	FANG Xing, ZHONG Zhangcheng (7411)
Photosynthetic response of different ecotype of <i>Illicium lanceolatum</i> seedlings to drought stress and rewating	CAO Yonghui, ZHOU Benzhi, CHEN Shuanglin, et al (7421)
Seasonal variations in the stems of <i>Larix principis-rupprechtii</i> at the treeline of the Luya Mountains	DONG Manyu, JIANG Yuan, WANG Mingchang, et al (7430)
Influence of terrain on plant biomass estimates by remote sensing: a case study of Guangzhou City, China	SONG Weiwei, GUAN Dongsheng, WANG Gang (7440)
Effects of exponential fertilization on biomass allocation and root morphology of <i>Catalpa bungei</i> clones	WANG Lipeng, YAN Ziyi, LI Jiyue, et al (7452)
Effects of fire damages on <i>Larix gmelinii</i> radial growth at Tahe in Daxing'an Mountains, China	WANG Xiaochun, LU Yongxian (7463)
A model for water consumption by mountain jujube pear-like	XIN Xiaogui, WU Pute, WANG Youke, et al (7473)
Specificity of photosystems function change of two kinds of overwintering broadleaf evergreen plants	ZHONG Chuanfei, ZHANG Yuntao, WU Xiaoying, et al (7483)

- Effects of drought on fluorescence characteristics of photosystem II in leaves of *Ginkgo biloba* WEI Xiaodong, CHEN Guoxiang, SHI Dawei, et al (7492)
- Numerical classification and ordination of forest communities in habitat of Sichuan Snub-nosed Monkey in Hubei Shennongjia National Nature Reserve LI Guangliang, CONG Jing, LU Hui, et al (7501)
- Impact of inorganic anions on the cadmium effective fraction in soil and its phytoavailability during salinization in alkaline soils WANG Zuwei, YI Liangpeng, GAO Wenyan, et al (7512)
- Photosynthetic adaptability of the resistance ability to weak light of 2 species *Spiraea* L. LIU Huimin, MA Yanli, WANG Baichen, et al (7519)
- Fine root longevity and controlling factors in a *Phoebe Bournei* plantation ZHENG Jinxing, HUANG Jinxue, WANG Zhenzhen, et al (7532)
- Analysis on spatial structure and scenarios of carbon dioxide emissions from tourism transportation XIAO Xiao, ZHANG Jie, LU Junyu, et al (7540)
- The hydrological response to human activities in Guishui River Basin, Beijing LIU Yuming, ZHANG Jing, WU Pengfei, et al (7549)
- Socio-economic impacts of under-film drip irrigation technology and sustainable assessment: a case in the Manas River Basin, Xinjiang, China FAN Wenbo, WU Pute, MA Fengmei (7559)
- Effects of pattern and timing of high temperature exposure on the mortality and fecundity of *Aphis gossypii* Glover on cotton GAO Guizhen, LÜ Zhaozhi, XIA Deping, et al (7568)
- Physiological responses of *Eucalyptus* trees to infestation of *Leptocybe invasa* Fisher & La Salle WU Yaojun, CHANG Mingshan, SHENG Shuang, et al (7576)
- Carbon storage capacity of a *Betula alnoides* stand and a mixed *Betula alnoides* × *Castanopsis hystrix* stand in Southern Subtropical China: a comparison study HE Youjun, QIN Lin, LI Zhiyong, et al (7586)
- Distribution and ecological risk assessment of 7 heavy metals in urban forest soils in Changsha City FANG Xi, TANG Zhijuan, TIAN Dalun, et al (7595)
- Review and Monograph**
- The relationship between humans and the environment at the urban-rural interface: research progress and prospects HUANG Baorong, ZHANG Huizhi (7607)
- Flux footprint of carbon dioxide and vapor exchange over the terrestrial ecosystem: a review ZHANG Hui, SHEN Shuanghe, WEN Xuefa, et al (7622)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究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;新书评介和学术、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

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 32 卷 第 23 期 (2012 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 23 (December, 2012)

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	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
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
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	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
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	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
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	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



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 70.00 元