

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 4 期
Vol.31 No.4
2011



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 31 卷 第 4 期 2011 年 2 月 (半月刊)

目 次

短期增温对青藏高原高寒草甸植物群落结构和生物量的影响 李 娜,王根绪,杨 燕,等 (895)

三峡库区 9 种植物种子萌发特性及其在植被恢复中的意义 陶 敏,鲍大川,江明喜 (906)

白蜡虫及其 3 种优势寄生蜂的时空生态位 王自力,陈 勇,陈晓鸣,等 (914)

宁夏盐池荒漠草原步甲物种多样性 贺 奇,王新谱,杨贵军 (923)

脂肪酸对中华哲水蚤摄食两种海洋微藻的指示作用 刘梦坛,李超伦,孙 松 (933)

安徽菜子湖大型底栖动物的群落结构特征 徐小雨,周立志,朱文中,等 (943)

乐清湾潮间带大型底栖动物群落分布格局及其对人类活动的响应 彭 欣,谢起浪,陈少波,等 (954)

海蜃养殖对池塘底泥营养盐和大型底栖动物群落结构的影响 冯建祥,董双林,高勤峰,等 (964)

竹巴笼矮岩羊 (*Pseudois schaeferi*) 昼间行为节律和时间分配 刘国库,周材权,杨志松,等 (972)

干热河谷植物叶片,树高和种子功能性状比较 郑志兴,孙振华,张志明,等 (982)

石羊河中游沙漠化逆转过程土壤种子库的动态变化 马全林,张德魁,刘有军,等 (989)

基于 TM 影像、森林资源清查数据和人工神经网络的森林碳空间分布模拟
..... 汪少华,张茂震,赵平安,等 (998)

山地视觉景观的 GIS 评价——以广东南昆山国家森林公园为例 裘亦书,高 峻,詹起林 (1009)

基于功能分类的城市湿地公园景观格局——以西溪湿地公园为例 李玉凤,刘红玉,郑 因,等 (1021)

水分胁迫下丛枝菌根 AM 真菌对民勤绢蒿生长与抗旱性的影响 贺学礼,高 露,赵丽莉 (1029)

农田灌溉对印度区域气候的影响模拟 毛慧琴,延晓冬,熊 喆,等 (1038)

高大气 CO₂ 浓度下小麦旗叶光合能量利用对氮素和光强的响应 张绪成,于显枫,马一凡,等 (1046)

豌豆过氧化氢酶在烟草叶绿体中的过量表达提高了植物的抗逆性 王凤德,衣艳君,王海庆,等 (1058)

不同小麦品种对低温胁迫的反应及抗冻性评价 王树刚,王振林,王 平,等 (1064)

基于遥感与模型耦合的冬小麦生长预测 黄 彦,朱 艳,王 航,等 (1073)

喷施 ABA 对两个穗型不同小麦穗颈节伤流、穗部性状及产量的影响 崔志青,尹燕枰,田奇卓,等 (1085)

“稻鸭共生”生态系统稻季 N、P 循环 张 帆,隋 鹏,陈源泉,等 (1093)

红壤丘陵区粮食生产的生态成本 李 晓,谢永生,张应龙,等 (1101)

甘南牧区草畜平衡优化方案与管理决策 梁天刚,冯琦胜,夏文韬,等 (1111)

黄龙钙化滩流地物种-面积关系 黄宝强,罗毅波,安德军,等 (1124)

杉木人工林细根寿命的影响因素 凌 华,袁一丁,杨智杰,等 (1130)

长白落叶松林龄序列上的生物量及碳储量分配规律 巨文珍,王新杰,孙玉军 (1139)

生物肥与甲壳素和恶霉灵配施对香蕉枯萎病的防治效果 张志红,彭桂香,李华兴,等 (1149)

北京城区不同水质水体可培养细菌数量的季节动态变化 高 程,黄满荣,陶 爽,等 (1157)

专论与综述

整树水力导度协同冠层气孔导度调节森林蒸腾 赵 平 (1164)

植物寄生对生态系统结构和功能的影响 李钧敏,董 鸣 (1174)

加拿大一枝黄花的入侵机理研究进展 杨如意,答树婷,唐建军,等 (1185)

杉木人工林细根寿命的影响因素

凌 华^{1,2}, 袁一丁^{1,2}, 杨智杰^{1,2}, 黄锦学^{1,2}, 陈光水^{1,2,*}, 杨玉盛^{1,2}

(1. 福建师范大学地理科学学院, 福州 350007; 2 湿润亚热带生态地理过程省部共建教育部重点实验室, 福州 350007)

摘要:利用微根管技术探讨细根径级、序级、出生季节、土层和林龄对福建南平 18 年生和 90 年生杉木人工林细根寿命的影响。杉木林细根中值寿命随径级增大而延长, 18 年生杉木人工林直径 $d \leq 0.3$ mm、 $0.3 < d \leq 0.6$ mm、 $0.6 < d \leq 1.0$ mm 和 $d > 1.0$ mm 的细根中值寿命分别为 (125 ± 47) d、 (158 ± 16) d、 (248 ± 18) d 和 (272 ± 53) d; 90 年生杉木人工林直径 $d \leq 0.3$ mm 和 $0.3 < d \leq 0.6$ mm 的中值寿命分别为 (95 ± 20) d 和 (200 ± 17) d, 而 $0.6 < d \leq 1.0$ mm 和 $d > 1.0$ mm 的细根在观测期结束时, 其累积存活率仍高于 50%。18 年生和 90 年生杉木高序级细根累积存活率都显著高于一级根, 一级细根中值寿命分别为 (180 ± 13) d 和 (200 ± 18) d, 而高级根在观测期结束时, 其累积存活率仍大于 50%。18 年生杉木秋季出生的细根累积存活率显著高于夏季, 90 年生杉木冬季和秋季出生的细根累积存活率均极显著高于春季和夏季。18 年生杉木冬季、秋季、春季、夏季出生细根的中值寿命分别为 (216 ± 16) d、 (248 ± 12) d、 (172 ± 6) d 和 125 d; 90 年生杉木秋季、春季、夏季出生细根中值寿命分别为 383 d、 (127 ± 23) d 和 (106 ± 19) d, 而冬季出生的细根在观测期结束时累积存活率仍在 50% 以上。90 年生杉木细根累积存活率随土壤深度增加而显著增加, 土层深度 $0 < D \leq 20$ cm 和 $20 < D \leq 40$ cm 细根中值寿命分别为 (156 ± 14) d 和 (241 ± 24) d, 而 $40 < D \leq 60$ cm 土层细根寿命在观测期结束时累积存活率仍在 50% 以上; 18 年生不同土层细根累积存活率则均无显著差异, 中值寿命分别为 (187 ± 19) d、 (216 ± 28) d 和 (120 ± 47) d。不同林龄相同径级或序级细根的存活曲线均无显著差异; 除了夏季外, 不同季节出生的同生根群存活率曲线在不同林龄之间均具有显著差异; $0 < D \leq 20$ cm、 $20 < D \leq 40$ cm 土层细根存活曲线在不同林龄间无显著差异, 但 $40 < D \leq 60$ cm 土层的细根存活曲线在不同林龄间则存在显著差异。

关键词: 细根; 寿命; 杉木; 微根管; 生存分析

Influencing factors of fine root lifespans in two Chinese fir plantations in subtropical China

LING Hua^{1,2}, YUAN Yiding^{1,2}, YANG Zhijie^{1,2}, HUANG Jinxue^{1,2}, CHEN Guangshui^{1,2,*}, YANG Yusheng^{1,2}

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

2 Key Laboratory of Humid Subtropical Eco-geographical Processes (Fujian Normal University), Ministry of Education, Fuzhou 350007, China

Abstract: The influences of root diameters, branch orders, seasons of birth, soil depths and stand ages on fine root lifespans were studied using minirhizotrons in the 18- and 90-year-old Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) plantations in Nanping, Fujian Province. The median lifespans (ML) of fine roots increased with the diameter, with the corresponding ML of (125 ± 47) d, (158 ± 16) d, (248 ± 18) d, and (272 ± 53) d for roots of ≤ 0.3 mm, $0.3 - 0.6$ mm, $0.6 - 1.0$ mm, and > 1.0 mm in the younger stand, and of (95 ± 20) and (200 ± 17) d for roots of ≤ 0.3 mm and $0.3 - 0.6$ mm in the old-growth stand. Roots of $0.6 - 1.0$ mm and > 1.0 mm in the old-growth stand had the accumulative survival rates over 50% at the end of the experiment. The accumulative survival rates of high order roots were significantly higher than those of the first order roots in both stands, with ML of (180 ± 13) d and (200 ± 18) d respectively for the first order roots and with the accumulative survival rates over than 50% for the high order roots when the experiment was over. In the younger stand, roots born in the autumn had significantly higher accumulative survival rates than those born in the summer, while those born in the winter and autumn had significantly higher accumulative survival rates than those born in the spring

基金项目: 国家自然科学基金项目(30972347); 福建省自然科学基金项目(2008J0124)

收稿日期: 2009-12-30; **修订日期:** 2010-07-03

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

and summer in the old-growth stand. The ML was (216 ± 16) d, (248 ± 12) d, (172 ± 6) d, and 125 d respectively for roots born in the winter, autumn, spring and summer in the younger stand, and was 383 d, (127 ± 23) d, and (106 ± 19) d respectively for those born in the autumn, spring and summer in the old-growth stand. Roots born in the winter in the old-growth stand had an accumulative survival rate over 50% at the end of the experiment. The accumulative survival rates increased significantly with soil depths for roots of the old-growth stand, with ML of (156 ± 14) d and (241 ± 24) d respectively for the 0–20 cm and 20–40 cm depths and an accumulative survival rate over 50% for the 40–60 cm depth at the end of the experiment. There was no significant difference in the accumulative survival rates for roots of the younger stand among soil depths, with ML of (187 ± 19) d, (216 ± 28) d, and (120 ± 47) d, respectively. There was no significant difference in the survival curves between the stands for roots with the same diameter class, root order, season of birth or soil depth, except those born in the summer and those inhabited the 40–60 cm depth for which significant differences between stands were found.

Key Words: fine root; lifespan; Chinese fir; minirhizotron; survival analysis

细根周转每年向地下输入的有机物占输入总量的 50% 左右^[1],对陆地生态系统 C 及养分循环起着重要作用。细根寿命作为细根周转的内在机制,决定了每年分配到土壤碳和养分的数量,细根寿命越短,周转越快,对 C 消耗也越大,从而影响对森林生态系统固碳潜力的精确估测。20 世 90 年代以前,研究者通常采用间接方法测定细根寿命,包括极差法^[2]、连续土芯法和内生法^[3]、C 或 N 收支平衡法^[4]及同位素示踪法^[5-6]。间接方法得到的是平均寿命(或平均残留时间)^[7],且忽略了取样间隔期内细根的出生和死亡,所以间接方法可能会高估细根寿命^[7-8],如 Michael^[9]比较发现间接方法估测的细根寿命值明显高于直接方法($P = 0.005$)。微根管法(Minirhizotron)是一种非破坏性的直接方法,于 1937 年首次提出^[10],应用于森林根系的研究则始于 20 世纪 90 年代初^[11]。它通过长期观测细根或单个根段的出现或消失过程,可以更为准确地估算细根寿命。因而近 20a 来国外已采用微根管技术对细根寿命及其影响因素进行了大量研究。然而目前国内应用微根管技术开展细根寿命的研究仍然很少^[12],而有关我国亚热带森林细根寿命的研究则仍未见报道。

研究细根寿命的控制机理有助于深入揭示细根在生态系统物质循环中的重要作用。目前已有研究表明细根寿命的影响因素包括地上部分向根系的 C 供应、细根形态(如直径、比根长、在序级结构中的位置)、细根出生季节、细根土层分布、土壤 N 和水分有效性、土壤温度以及根际土壤动物和微生物活动等^[13-15]。随着林木的生长和衰老,林木光合能力、养分需求、地上地下碳相对分配等发生变化^[16-20],这些因素将可能影响到细根的生理功能和碳水化合物供应情况,进而影响到细根的寿命。然而已有的细根寿命研究几乎均来自于单一林龄,有关林龄对细根寿命的影响目前仍未见报道。而深入研究细根细根寿命随林龄变化,对于深入揭示林龄对森林碳收支的影响具有十分重要的作用。而林龄对细根寿命的影响体现在细根总体寿命和不同细根群体寿命的影响上,两者的影响机理可能有较大差异,因而林龄对细根寿命的影响及机理需要分别从细根总体和不同细根群体的水平上开展。

杉木(*Cunninghamia lanceolata*)林是我国南方集体林区最重要的商品林之一,面积达 $1239.1 \times 10^4 \text{ hm}^2$,蓄积量为 $47357.33 \times 10^4 \text{ m}^3$,分别占全国人工林面积和蓄积的 26.55% 和 46.89%,在我国人工林中占据重要地位^[21]。采用微根管技术研究杉木人工林细根寿命及其影响因素,对于深入揭示杉木人工林的生产力维持机制、物质循环特点以及碳吸存潜力等有重要作用。为此,选择处于发育阶段差异明显的 18 年生(速生阶段)和 90 年生(衰老阶段)杉木林为研究对象,通过把细根按细根形态特征(径级和序级)、出生季节和土层分布划分成不同细根群体,重点揭示林龄对不同细根群体的寿命影响。

1 试验地概况

试验地位于福建省南平市王台镇溪后村安曹下($26^{\circ}28'N$, $117^{\circ}57'E$),属亚热带季风气候,年平均气温 19.3°C ,年平均降水量 1669mm,降雨多集中在 3—8 月,年均蒸发量 1413 mm,相对湿度为 83%。本区属武夷

山系南伸支脉,平均海拔在 200 m 左右;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。

研究对象为 18 年生和 90 年生杉木人工林。其中 18 年生杉木人工林坡向 NW25°,坡度 34°,为 1991 年实生造林而成,调查时林分密度为 3875 株/hm²,平均树高和胸径分别为 11.8m 和 11.0cm。灌木层以杜茎山 (*Maesa japonica*)、寒莓 (*Rubus buergeri*)、粗叶榕 (*Ficus hirta*) 等为主,草本层以金星蕨 (*Parathelypteris glanduligera*)、长江蹄盖蕨 (*Athyrium iseanum Rosenst.*)、鳞毛蕨 (*Dryopteris austriaca*)、狗脊 (*Woodwardia japonica*) 为主,盖度约 90%。90 年生杉木人工林坡向 SW80°,坡度 30°,为 1919 年插条造林而成,调查时林分密度为 750 株/hm²,平均树高和胸径分别为 32.2m 和 32.8cm。林下灌木层以杜茎山、寒莓、粗叶榕等为主;草本层以芒萁 (*Dicranopteris dichotoma*)、水龙骨 (*Polypodiodes niponica*)、狗脊为主,盖度约 100%。两种林分的土壤理化性质见表 1。

表 1 18 年生和 90 年生杉木人工林土壤理化性质

Table 1 Soil properties in the 18- and 90-year-old Chinese fir plantations

林龄 Age /a	土层 Soil depth /cm	容重 Bulk density /(g/cm ³)	有机碳含量 SOC /(g/kg)	全氮 Total N /(g/kg)	全磷 Total P /(g/kg)	全钾 Total K /(g/kg)
18	0 < D ≤ 20	0.98 ± 0.10	15.01 ± 0.81	1.80 ± 0.10	0.28 ± 0.03	50.96 ± 7.06
	20 < D ≤ 40	0.94 ± 0.07	8.39 ± 4.14	1.10 ± 0.17	0.24 ± 0.04	54.29 ± 8.59
	40 < D ≤ 60	0.95 ± 0.04	3.65 ± 1.26	0.89 ± 0.11	0.26 ± 0.05	52.60 ± 7.08
90	0 < D ≤ 20	1.10 ± 0.03	18.56 ± 1.37	1.68 ± 0.27	0.30 ± 0.07	44.57 ± 4.31
	20 < D ≤ 40	1.14 ± 0.07	6.17 ± 0.89	0.98 ± 0.09	0.23 ± 0.04	47.95 ± 3.44
	40 < D ≤ 60	1.30 ± 0.07	3.19 ± 0.18	0.83 ± 0.10	0.22 ± 0.02	47.43 ± 2.91

2 研究方法

2.1 样地设置与仪器安装

在 18 年生和 90 年生杉木人工林内分别布设 3 个 20m × 20m 的固定标准地,于 2007 年 5 月底,在每块标准地内随机安装 5 根 PVC(聚氯乙烯)透明圆形管(即微根管),共安装 15 个微根管。微根管内径为 5cm,长度为 90 cm,管口钻两个孔,两孔呈 180°,孔的大小与标定手柄的按扣大小一致,以保证每次取样的影像位置相同。在距树干 0.5—1.0 m 的任意位置上,沿山体等高线,用特制钢钻钻一个与透明管直径接近的管洞,且该管洞与地面成 45°,然后将微根管斜插入管洞,土壤中的微根管长度约为 70 cm(垂直深度为 60 cm 左右)。为防止水或杂物进入管内和光线透入,顶端先加盖密封,然后用黑色胶布覆盖地表以上的微根管部分,最后用浅色胶布覆盖表面,以反射太阳光防止吸热使管内温度过高,另外管下用枯落物覆盖,尽量维持土壤的原状环境^[9,22]。

2.2 取样与影像分析

从 2007 年 10 月起,于每月下旬用微根管袖珍影像成像系统(ET-100, Bartz Technology, Santa Barbara, CA, USA)采集根系影像,每次采集图片在 1d 内完成。影像带回室内用根系分析系统(WinRHIZO TRON MF 2005 年图像分析软件)进行分析,以得到细根形态特征和根序等信息。论文采用的数据期间为 2007 年 10 月至 2009 年 3 月。

2.3 数据处理与分析

细根寿命定义为第一次出现到消失的时间间隔,即从出生到死亡这段时间。将细根第一次出现时的直径作为分析根系时采用的直径^[22],把监测到的根系分成 4 个直径等级:即 $d \leq 0.3$ mm、 $0.3 < d \leq 0.6$ mm、 $0.6 < d \leq 1$ mm 和 $d > 1$ mm。根据 Fitter^[23]对根系分枝的研究进行根序分级:将微根管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。由于微根管观测到区域小,三级以上细根数量较少,所以将二级以上的细根统称为高级根。

采用 Kaplan-Meier 方法进行生存分析,估计细根存活率及中值寿命(MRL),并做存活曲线(Survival

curve)。由于细根寿命呈非正态分布,不同直径、不同出生季节、不同土层及不同林龄之间细根生存曲线的差异采用对数秩检验(Log-rank test);由于细根直径(包括对数转换后)不符合正态分布,因而细根直径的差异采用两独立样本非参数检验(Kolmogorov-Smirnov Z 方法)。所有数据均采用 SPSS 13.0 for Windows 和 Microsoft office Excel 2003 等统计软件进行分析。除非特别说明,显著性水平均为 $P = 0.05$ 。

3 结果

3.1 细根径级和序级对细根寿命的影响

18 年生杉木细根除了 $0.6 < d \leq 1.0$ mm 和 $d > 1.0$ mm 细根之间,以及 $d \leq 0.3$ mm 和 $0.3 < d \leq 0.6$ mm 细根之间的存活曲线没有显著差异外($P > 0.05$),不同径级细根的存活曲线之间均有显著性差异($P < 0.05$) (图 1)。而 90 年生杉木细根除了 $0.6 < d \leq 1.0$ mm 和 $d > 1.0$ mm 之间生存曲线差异不显著外($P > 0.05$),各径级细根的存活曲线之间均存在显著差异($P < 0.05$) (图 1)。杉木细根的中值寿命随径级的增加而延长,18 年生杉木直径 $d \leq 0.3$ mm、 $0.3 < d \leq 0.6$ mm、 $0.6 < d \leq 1.0$ mm 和 $d > 1.0$ mm 细根中值寿命分别为 (125 ± 47) d、 (158 ± 16) d、 (248 ± 18) d 和 (272 ± 53) d (表 2);90 年生杉木 $d \leq 0.3$ mm 和 $0.3 < d \leq 0.6$ mm 细根中值寿命分别为 (95 ± 20) d 和 (200 ± 17) d (表 2),而 $0.6 < d \leq 1.0$ mm 和 $d > 1.0$ mm 细根在观测期结束时,其累积存活率仍高于 50% (分别为 51.02% 和 65%) (图 1)。

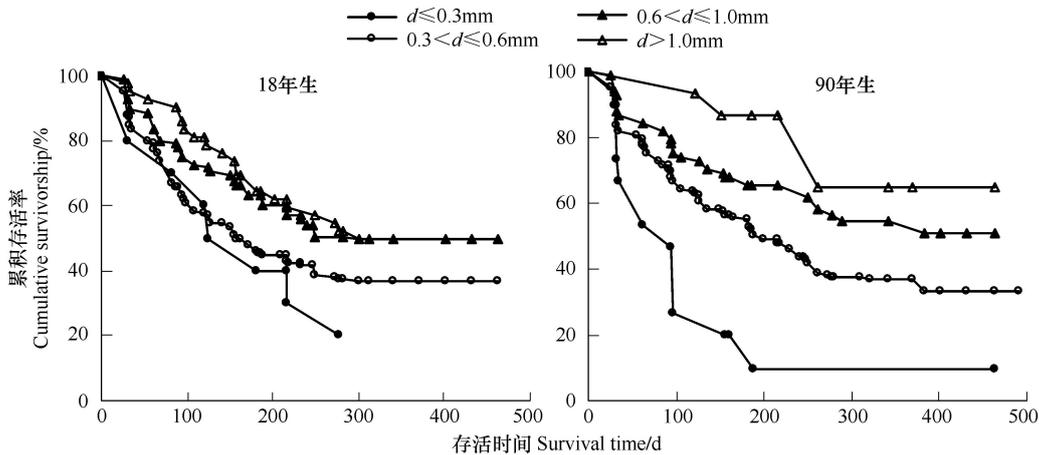


图 1 18 年生和 90 年生杉木不同直径细根的存活曲线

Fig. 1 Survival curves for fine roots of different diameter classes in the 18- and 90-year-old Chinese fir plantations

18 年生和 90 年生杉木一级根的累积存活率始终低于高级根(图 2),且一级根与高级根的存活曲线差异均达到极显著水平($P_{18} < 0.01$; $P_{90} < 0.001$)。18 年生和 90 年生杉木一级根的中值寿命分别为 (180 ± 13) d 和 (200 ± 18) d;而两种林分高级根在观测期结束时,其累积存活率仍大于 50% (表 2)。另外,两种林分的一级根的平均直径均显著小于高级根($P_{18} < 0.01$; $P_{90} < 0.001$)。

3.2 细根出生季节对细根寿命的影响

18 年生杉木秋季出生的细根累积存活率显著高于夏季($P < 0.05$),而其它季节出生的细根存活曲线之间的差异则均不显著($P > 0.05$) (图 3);冬季和秋季出生的细根中值寿命(分别为 (216 ± 16) d 和 (248 ± 12) d)均明显高于春季和夏季(分别为 (172 ± 6) d 和 125 d) (表 2)。

90 年生杉木冬季和秋季出生的细根累积存活率均极显著高于春季和夏季($P < 0.001$),而冬季与秋季、春季与夏季出生的细根之间的累积存活率差异均不显著($P > 0.05$) (图 3)。秋季出生的细根中值寿命 (383) d 远高于春季 (127 ± 23) d 和夏季 (106 ± 19) d (表 2),而冬季出生的细根在观测期结束时累积存活率仍在 50% 以上(图 3)。

3.3 土层深度对细根寿命的影响

18 年生杉木 3 个土层细根存活曲线均无显著差异($P > 0.05$) (图 4),但上层 ($0 < D \leq 20$ cm) 和中层

表 2 18 年生和 90 年生杉木人工林不同径级、序级、出生季节和土层的细根平均直径和中值寿命

Table 2 Mean diameter and median lifespan of fine roots for different diameter, root order, season and soil depths in the 18- and 90-year-old Chinese fir plantations

细根分类 Root classification		18 年生 18-year-old		90 年生 90-year-old	
		平均直径/mm Mean diameter	中值寿命/d Median root lifespan	平均直径/mm Mean diameter	中值寿命/d Median root lifespan
直径等级 Diameter class	$d \leq 0.3\text{mm}$	0.28 ± 0.02 Aa	125 ± 47	0.24 ± 0.05 Aa	95 ± 20
	$0.3 < d \leq 0.6\text{mm}$	0.46 ± 0.08 Ab	158 ± 16	0.40 ± 0.08 Bb	200 ± 17
	$0.6 < d \leq 1.0\text{mm}$	0.74 ± 0.11 Ac	248 ± 18	0.73 ± 0.11 Ac	—
	$d > 1.0\text{mm}$	1.28 ± 0.22 Ad	272 ± 53	1.44 ± 0.5 Ad	—
序级 Root order	一级根 first order	0.61 ± 0.28 Aa	180 ± 13	0.51 ± 0.22 Ba	200 ± 18
	高级根 higher order	0.75 ± 0.32 Ab	—	0.64 ± 0.34 Ab	—
季节 Season	春 Spring	0.63 ± 0.30 Aa	172 ± 6	0.49 ± 0.19 Ba	127 ± 23
	夏 Summer	0.60 ± 0.25 Aa	125	0.54 ± 0.30 Aa	106 ± 19
	秋 Autumn	0.58 ± 0.30 Aa	248 ± 12	0.57 ± 0.26 Ba	383
	冬 Winter	0.71 ± 0.33 Ab	216 ± 16	0.51 ± 0.16 Ba	—
土层深度 Soil depth	$0 < D \leq 20\text{cm}$	0.61 ± 0.29 Aa	187 ± 19	0.52 ± 0.19 Ba	156 ± 14
	$20 < D \leq 40\text{cm}$	0.62 ± 0.29 Aa	216 ± 28	0.50 ± 0.20 Ba	241 ± 24
	$40 < D \leq 60\text{cm}$	0.65 ± 0.29 Ab	120 ± 47	0.58 ± 0.40 Aa	—

文中数据为平均值 \pm 标准差; 同一行具有相同大写字母表示两林龄无显著差异 ($P > 0.05$), 否则存在显著性差异 ($P < 0.05$); 同一列的相同分类中具有相同小写字母表示无显著性差异 ($P > 0.05$), 否则存在显著性差异 ($P < 0.05$)

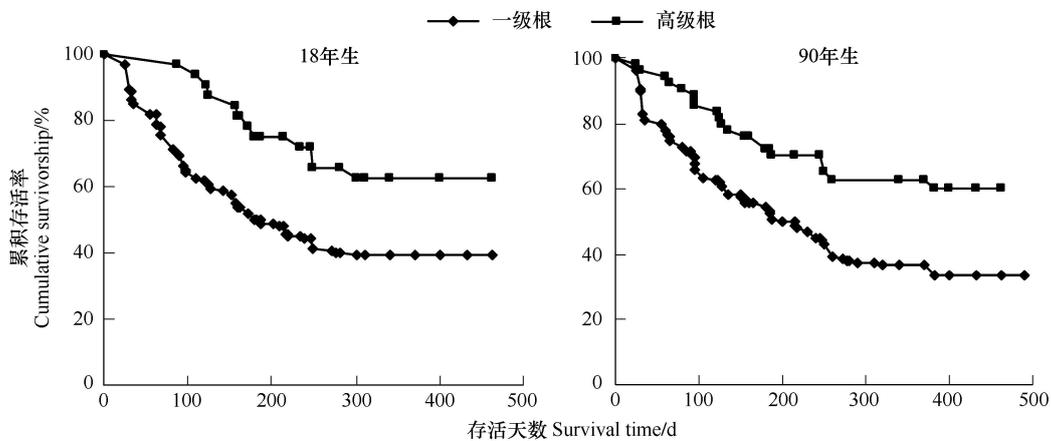


图 2 18 年生和 90 年生杉木不同根序细根的存活曲线

Fig. 2 Survival curves for fine roots of different root orders in the 18- and 90-year-old Chinese fir plantations

($20 < D \leq 40$ cm) 细根的中值寿命(分别为(187 ± 19) d 和(216 ± 28) d)则远高于下层($40 < D \leq 60$) cm 细根(120 ± 47) d(表 2)。90 年生杉木细根累积存活率随土壤深度增加而显著增加,各土层细根存活曲线差异均达到极显著水平($P < 0.01$) (图 4); 上层($0 < D \leq 20$ cm) 和 中层($20 < D \leq 40$ cm) 的细根中值寿命分别为(156 ± 14) d 和(241 ± 24) d(表 2), 下层($40 < D \leq 60$ cm) 的细根累积存活率在观测期结束时仍高于 50% (图 4)。

3.4 林龄对不同细根群体寿命的影响

不同林龄相同径级或序级细根的存活曲线均无显著差异 ($P > 0.05$), 表明按形态特征划分的细根群体在不同林龄间具有相似的生命控制机制。

除了夏季外($P = 0.198$), 不同季节出生的同生根群存活率曲线在不同林龄之间均具有显著差异 ($P < 0.05$), 表明林龄对按细根出生季节划分的同生根群的寿命有较大影响。

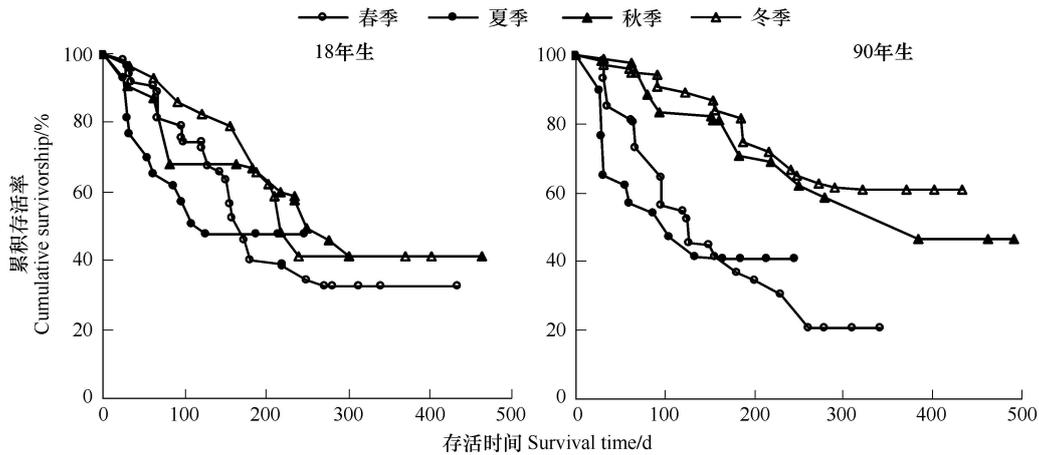


图3 18年生和90年生杉木不同季节同龄根群的存活曲线

Fig. 3 Survival curves for fine root cohorts of different seasons in the 18- and 90-year-old Chinese fir plantations

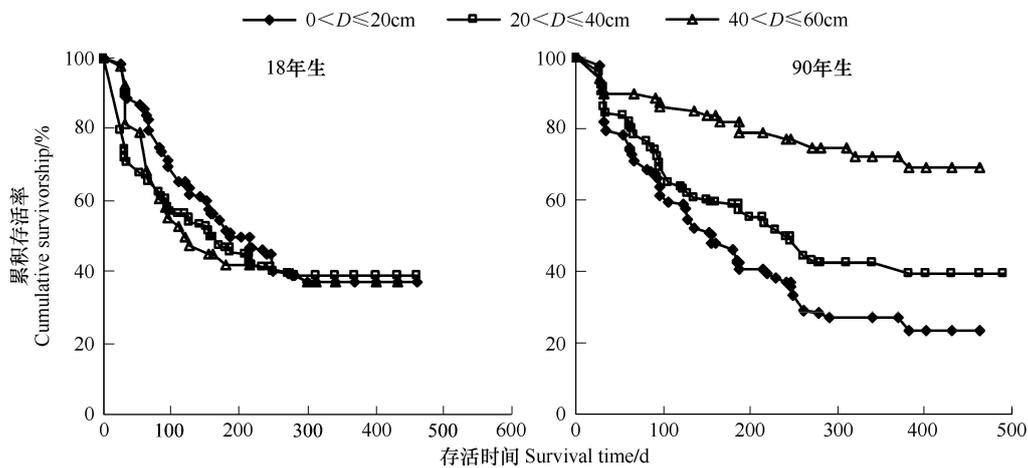


图4 18年生和90年生杉木不同土层细根的存活曲线

Fig. 4 Survival curves for fine roots of different soil depths in the 18- and 90-year-old Chinese fir plantations

$0 < D \leq 20\text{cm}$ 、 $20 < D \leq 40\text{cm}$ 土层细根存活曲线在不同林龄间无显著差异 ($P > 0.05$), 但 $40\text{—}60\text{cm}$ 土层的细根存活曲线在不同林龄间则存在显著差异 ($P < 0.05$), 表明林龄对底层细根根群的寿命有一定影响。

4 讨论

4.1 细根形态特征对细根寿命影响

本研究发现,细根寿命与细根直径呈正相关,这与他人的研究结果一致。如 Baddeley & Watson^[24]发现,细根中值寿命随细根直径的增加而延长,根系直径每增加 0.1 mm ,细根死亡率就下降 16% ; Wells & Eissenstat^[25]对苹果树细根寿命研究表明,直径为 $0.1\text{—}0.2\text{ mm}$ 、 $0.2\text{—}0.3\text{ mm}$ 、 $0.3\text{—}0.5\text{ mm}$ 和 $0.5\text{—}1.1\text{ mm}$ 的细根中值寿命分别为 34 、 36 、 97 、大于 211 d ;对 60 年生的欧亚槭林^[26]和 15 年生的碧桃 (*Prunus persica*)^[22] 细根的研究也都得到相似结论。随细根直径变化,细根的生理生化特性改变,是细根寿命发生变化的主要原因。有研究认为,直径越小的根, N 的浓度较高^[27],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^[13]。

本研究中,一级根的中值寿命明显低于高级根,存活曲线间存在显著和极显著差异 ($P_{18} < 0.01$; $P_{90} < 0.001$)。这与一些研究结果相似,如 Wells^[22]对 15 年生碧桃研究显示,高级根的中值寿命长达 210 d 左右,而一级根序细根则只有 100 d 左右; Reid^[28]对奇异果果树 (*Actinidia deliciosa*) 研究结果也表明高级根序细根的

寿命较长。本研究中,不同序级细根寿命的差异,可能与直径有关,因为不同序级细根直径表现出显著和极显著差异($P_{18} < 0.01$; $P_{90} < 0.001$) (表 2)。有研究表明,随序级减小,细根直径变小,同时细根 N 浓度增加, C 的浓度则有不同程度的减少^[22,26,29]。然而,除直径大小外,细根在分支结构中位置不同引起细根生理活性的差异亦是细根序级影响细根寿命的重要原因。如一级根由于生长于根系最末端,获得碳水化合物需要较长时间,且碳水化合物运输过程中其数量逐渐降低,从而导致一级根获取碳水化合物较为困难而使寿命缩短。此外,一级根是吸收水分养分的最主要部位,强烈的生理活动加快了根内碳的消耗,这亦导致一级根寿命较短^[26]。

4.2 出生季节对细根寿命的影响

一般认为,细根寿命长短是内外部因素共同作用的结果^[30],如光合产物的分配与积累^[31-32],温度^[11,33],水分^[11],土壤养分有效性^[34]等,而这些影响因子都具有明显的季节性,这也导致了细根寿命的季节变化。虽然不同林龄杉木细根寿命的季节模式有一定差异,但基本表现为秋冬季大于春夏季。夏季出生的杉木细根寿命最短,这与夏季较高的土壤温度导致细根呼吸加强^[35],维持消耗增加,以及地上部分旺盛的生长与细根形成对碳水化合物的强烈竞争有关。春季出生的杉木细根寿命较短,这可能与过冬后春季根系中较低水平的碳水化合物贮存有关。而秋冬季出生的细根,由于土壤温度降低,木质化程度增加^[36-37],根系呼吸、养分吸收等生理作用非常微弱,代谢缓慢,从而导致细根寿命较长。

然而,本研究中杉木细根寿命的季节模式与已有的研究结果则不尽相同。如 Kern 等^[38]对杨树人工林细根寿命研究发现,春季萌生的细根要比夏季和秋季具有较低的存活率。Anderson^[32]发现葡萄在春季开花之前产生的细根寿命最短。Eissenstat 和 Yanai^[13]发现,相对于夏季出生细根来说,秋季产生的新根更容易死亡。另有研究^[12]认为,虽然夏季较高的土壤温度导致细根维持消耗增加,但由于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,因而在夏天根系可以通过延长寿命的策略来达到最大的投入产出^[13]。可见细根寿命的季节模式还因不同植物特性,特别是碳水化合物的分配模式和对环境的适应策略差异而异。

4.3 土层深度对细根寿命的影响

90 年生杉木细根寿命随土层深度的增加而延长,这与在糖槭^[11]、挪威云杉^[39]、野黑樱桃^[24]、柑橘^[40]、桃树(*Prunus persica* (Rosaceae))^[22]、格兰马草(*Bouteloua gracilis*)^[41]、葡萄藤^[31]等不同植物细根的研究中相似。一些研究发现细根直径随土层增加而变大^[11,42]。由于细根直径与细根寿命一般呈正相关^[24],因而,随土层增加细根直径的变大亦可能是深层土壤细根寿命延长的一个原因^[12]。但本研究中 90 年生杉木细根直径在不同土层之间并无显著差异($P > 0.05$),说明细根直径的变化尚不足以解释本研究中 90 年生杉木细根寿命随土层增加而延长这一现象。造成细根寿命随土层增加而延长的现象可能与土壤有机碳和土壤全氮浓度的下降(表 1),从而导致细根组织养分降低而使细根寿命延长有关^[29,43-44]。另外,一些研究者认为深层土壤细根寿命延长,还与深层土壤温度和湿度波动较小,土壤温度低、土壤湿度大、CO₂ 浓度高,以及受病原体 and 植食性动物的压力较小等有关^[12-45]。

本研究中,18 年生杉木细根存活曲线在不同土层间均无显著差异,这可能与该林分表层和底层土壤容重差异较小有关(表 1),亦可能与 18 年生杉木下层(40 < $D \leq 60$ cm)所观测到的细根样本量偏少(仅 38 个)有关。

4.4 林龄对不同细根根群寿命的影响

本研究表明,相同直径或序级的细根存活曲线在不同林龄之间并无显著差异,这种结果可能表明,不同林龄间具有相同形态特征的细根群体其寿命控制机理可能是相似的,即具有相似的光合产物供应和生理功能(养分吸收、呼吸作用等)。然而,为证实该推测,还需要进一步深入研究不同林龄不同根群细根化学组成和生理生化指标的差异。

由于细根寿命与细根直径密切相关,因而,本研究中不同季节出生的细根存活率在不同林龄间的差异可能与细根的直径分布差异有关。两个林龄夏季出生细根的直径没有显著差异($P = 0.649$),而其余季节出生

细根的直径分布在不同林龄间均有显著差异($P < 0.01$)。而林龄对不同季节细根直径分布的影响机制则有待进一步研究。

两林龄中上层细根直径存在显著差异,下层无显著差异,与存活曲线差异相反,可见林龄对不同土层细根寿命的影响不能通过直径解释。本研究中,90年生杉木林底层土壤容重($(1.30 \pm 0.07) \text{g/cm}^3$)远大于18年生($(0.95 \pm 0.04) \text{g/cm}^3$),因而,90年生底层土壤通气性较差、土壤 CO_2 浓度增加,导致对细根呼吸抑制作用可能大于18年生,这可能是90年生杉木林底层细根寿命大于18年生杉木林的原因之一。同时,18年生杉木下层($40 < D \leq 60 \text{cm}$)土壤观测到的细根样本量偏少(仅38个)亦可能是另一个原因。

5 小结

杉木林相同径级或序级的细根存活曲线在不同林龄之间并无显著差异;不同季节出生的细根存活率在不同林龄间存在差异;两林龄不同土层细根直径差异与存活曲线差异相反,可见林龄对不同土层细根寿命的影响不能通过直径解释。细根径级和序级对杉木林细根寿命有很大影响,18年生杉木人工林4个径级细根中值寿命,随直径由小到大表现为从125 d到272 d逐渐增大,90年生较小两径级细根中值寿命为(95 ± 20) d和(200 ± 17) d,较大两径级细根在观测结束时累积存活率仍高于50%;两林分的高序级的细根累积存活率都显著高于一级根,低序级细根寿命要明显低于高序级细根。两林分秋冬季出生的细根寿命均明显大于春夏季。90年生杉木细根的累积存活率和中值寿命随土壤深度增加而增加,18年生则未表现出明显垂直分布。

References:

- [1] Ryan M G, Lavigne D, 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: 28871-28884.
- [2] McLaugherty C A, Aber J D, Melillo J M. Decomposition dynamics of fine roots in forested ecosystems. *Oikos*, 1984, 2: 378-386.
- [3] Fahey T J, Bledsoe C S, Day F P, Ruess R W, Smucker J M. Fine root production and demography // Robertson G P, Coleman D C, Bledsoe C S, Sollins P, eds. *Standard Soil Methods for Long-Term Ecological Research*. Oxford: Oxford University Press, 1999: 437-455.
- [4] Nadelhoffer K J, Aber J D, Melillo J M. Fine roots, net primary production and nutrient availability; a new hypothesis. *Ecology*, 1985, 66: 1377-1390.
- [5] Raich J W, Nadelhoffer K J. Below ground carbon allocation in forest ecosystems: global trends. *Ecology*, 1989, 70: 1346-1354.
- [6] Gaudinski J B, Trumbore S E, Davidson E A, Cook A C, Makkewitz D, Richter D D. The age of fine-root carbon in three forests of the eastern United States measured by radiocarbon. *Oecologia*, 2001, 129: 420-429.
- [7] Trumbore S E, Gaudinski J B. The secret lives of roots. *Science*, 2003, 302: 1344-1345.
- [8] Luo Y. Uncertainties in interpretation of isotope signals for estimation of fine root longevity: theoretical considerations. *Global Change Biology*, 2003, 9: 1118-1129.
- [9] Michael S P. Explaining variation in fine root life span. *Botany*, 2007, 68: 382-398.
- [10] Johnson M G, Tingey D T, Phillips D L, Storm M J. Advancing fine root research with minirhizotrons. *Environmental and Experimental Botany*, 2001, 45(3): 263-289.
- [11] Hendrick R L, Pregitzer K S. Patterns of fine root mortality in two sugar maple forests. *Nature*, 1993, 361: 59-61.
- [12] Yu S Q. Estimation of Fine Root Lifespan for *Fraxinus Mandshurica* and *Larix Gmelinii*. Harbin: Northeast Forestry University, 2006.
- [13] Eissenstat D M, Yanai R D. The ecology of root lifespan. *Advances in Ecological Research*, 1997, 27: 1-60.
- [14] Majdi H, Andersson P. Fine root production and turnover in a Norway spruce stand in Northern Sweden: effects of nitrogen and water manipulation. *Ecosystems*, 2005, 8: 191-199.
- [15] Peek M S. Explaining variation in fine root life span. *Progress in Botany*, 2007, 68(4): 382-398.
- [16] Litton C M, Ryan M G, Knight D H. Effects of tree density and stand age on carbon allocation patterns in postfire lodgepole pine. *Ecological Applications*, 2004, 14: 460-475.
- [17] Litton C M, Raich J W, Ryan M G. Carbon allocation in forest ecosystems. *Global Change Biology*, 2007, 13: 2089-2109.
- [18] Zerva A, Ball T, Smith K A, Mencuccini M. Soil carbon dynamics in a Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) chronosequence on a peaty gley. *Forest Ecology and Management*, 2005, 205: 227-240.
- [19] Saiz G, Byrne K A, Butterbach-Bahl K, Kiese R, Blujdea V, Farrell E P. Stand age-related effects on soil respiration in a first rotation Sitka spruce chronosequence in central Ireland. *Global Change Biology*, 2006, 12: 1007-1020.
- [20] Guo, D L, Mitchell, Robert J, Withington J M, Fan P P, Hendricks J J. Endogenous and exogenous controls of root life span, mortality and nitrogen flux in a longleaf pine forest: root branch order predominates. *Journal of Ecology*, 2008, 96(4): 737-745.
- [21] Forestry Ministry of China. *The National Forest Resources Statistics (1999-2003)*. Beijing: China Forestry Publishing House, 2005.

- [22] 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: 79-87.
- [23] Fitter A H, Functional significance of root morphology and root system architecture // Fitter A H, Atkinson D, Read D J, Usher M B, eds. *Ecological Interactions in Soil: Plants, Microbes and Animals*. Oxford: Blackwell. 1985: 87-106.
- [24] Baddeley J A, Watson C A. Influence of root diameter, tree age, soil depth and season on fine root survivorship in *Prunus avium*. *Plant and Soil*, 2005, 276: 15-22.
- [25] Wells C E, Eissenstat D M. Marked differences in survivorship among apple roots of different diameters. *Ecology*, 2001, 82: 882-892.
- [26] Pregitzer K S, Kubiske M E, Yu C K, Hendrick R L. Relationships among root branch order, carbon, and nitrogen in four temperate species. *Oecologia*, 1997, 111: 302-308.
- [27] Gordon, W S, and Jackson R B. Nutrient concentrations in fine roots. *Ecology*, 2000, 81:275-280.
- [28] Reid J B, Sorensen I, Petrie R. A. Root demography of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*). *Plant Cell and Environment*, 1993, 16: 949-957.
- [29] Majdi H. Changes in fine root production and longevity in relation to water and nutrient availability in a Norway spruce stand in northern Sweden. *Tree Physiology*, 2001, 21: 1057-1061.
- [30] Eissenstat D M, Wells C E, Yanai R D, Whitbeck J L. Building roots in a changing environment: implications for root longevity. *New Phytologist*, 2000, 147:33-42.
- [31] Pregitzer K, King J S, Burton A J, Brown S E. Responses of tree fine roots to temperature. *New Phytologist*, 2000, 147:105-115.
- [32] Anderson C P. Source-sink balance and carbon allocation belowground in plants exposed to ozone. *New Phytologist*, 2003, 157: 213-228.
- [33] Gill R A, Jackson R B. Global patterns of root turnover for terrestrial ecosystems. *New Phytologist*, 2000, 147:13-31.
- [34] 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: 389-399.
- [35] Burton A J, Pregitzer K S, Zogg G P. Latitudinal variation in sugar maple fine Root respiration. *Canadian Journal of Forest Research*, 1996, 26: 1761-1768.
- [36] Cheng Y H, Han Y Z, Wang Q C, Wang Z Q. Seasonal dynamics of fine root biomass, root length density, specific root length and soil resource availability in a larch plantation. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(3):403-410.
- [37] Mei L, Wang Z Q, Han G Z, Gu Y Z, Wang X R, Cheng Y H, Zhang X J. Distribution patterns of *Fraxinus mandshurica* root biomass, specific root length and root length density. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(1):1-4.
- [38] Kern C C, Friend A L, Johnson J M F, Coleman M D. Fine root dynamics in a developing *Populus deltoids* plantation. *Tree Physiology*, 2004, 24: 651-660.
- [39] Majdi H, Kangas P. Demography of fine roots in response to nutrient applications in a Norway spruce stand in southwestern Sweden. *Ecoscience*, 1997, 4: 199-205.
- [40] Kosola K R, Eissenstat D M, Graham J H. Root demography of mature citrus trees: the influence of Phytophthora citricarpa. *Plant and Soil*, 1995, 171: 283-288.
- [41] Gill R A, Burke I C, Lauenroth W K, Milchunas D G. Longevity and turnover of roots in the shortgrass steppe: influence of diameter and depth. *Plant Ecology*, 2002, 159: 241-251.
- [42] López B, Sabaté S, Gracia C. Fine roots dynamics in a Mediterranean forest-effects of drought and stem density. *Tree Physiology*, 1998, 18: 601-606.
- [43] Hendrick R L, Pregitzer K S. Temporal and depth-related patterns of fine root dynamics in northern hardwood forests. *Journal of Ecology*, 1996, 84: 167-176.
- [44] Coleman M D, Dickson R E, Isebrands J G. Contrasting fine-root production, survival and soil CO₂ efflux in pine and poplar plantations. *Plant and Soil*, 2000, 225: 129-139.
- [45] Schoettle A, Fahey T J. Foliage and fine root longevity in pines. *Ecological Bulletins*, 1994, 43:136-153.

参考文献:

- [12] 于水强. 水曲柳和落叶松细根寿命的估计. 哈尔滨: 东北林业大学, 2006.
- [21] 中华人民共和国林业部. 全国森林资源统计(1999—2003). 北京: 中国林业出版社, 2005.
- [36] 程云环, 韩有志, 王庆成, 王政权. 落叶松人工林细根动态与土壤资源有效性关系研究. *植物生态学报*, 2005, 29(3): 403-410.
- [37] 梅莉, 王政权, 韩有志, 谷加存, 王向荣, 程云环, 张秀娟. 水曲柳根系生物量、比根长和根长密度的分布格局. *应用生态学报*, 2006, 17(1): 1-4.

CONTENTS

Short-term effects of temperature enhancement on community structure and biomass of alpine meadow in the Qinghai-Tibet Plateau ... LI Na, WANG Genxu, YANG Yan, et al (895)

Effects of submergence on seed germination of nine annual plant species in the Three Gorges Reservoir region and their implication to vegetation restoration ... TAO Min, BAO Dachuan, JIANG Mingxi (906)

Temporal-spatial niches of Chinese White Wax Scale insect (*Ericerus pela*) and its three dominant parasitoid wasps ... WANG Zili, CHEN Yong, CHEN Xiaoming, et al (914)

Species diversity of carabid beetles in desert-steppe in Yanchi of Ningxia, China ... HE Qi, WANG Xinpu, YANG Guijun (923)

Identification of trophic relationships between marine algae and the copepod *Calanus sinicus* in a fatty acid approach ... LIU Mengtan, LI Chaolun, SUN Song (933)

Community structure of macrozoobenthos in Caizi Lake, China ... XU Xiaoyu, ZHOU Lizhi, ZHU Wenzhong, et al (943)

The community distribution pattern of intertidal macrozoobenthos and the responses to human activities in Yueqing Bay ... PENG Xin, XIE Qilang, CHEN Shaobo, et al (954)

The effects of jellyfish (*Rhopilema esculentum* Kishinouye) farming on the sediment nutrients and macrobenthic community ... FENG Jianxiang, DONG Shuanglin, GAO Qinfeng, et al (964)

Diurnal activity rhythm and time budgets of the Dwarf Blue Sheep (*Pseudois schaeferi*) in Zhubalong Nature Reserve ... LIU Guoku, ZHOU Caiquan, YANG Zhisong, et al (972)

Comparison of leaf, height and seed functional traits of species in dry-hot valleys ... ZHENG Zhixing, SUN Zhenhua, ZHANG Zhiming, et al (982)

Dynamics of soil seed banks in the reversion process of desertification in the middle reaches of the Shiyang River ... MA Quanlin, ZHANG Dekui, LIU Youjun, et al (989)

Modelling the spatial distribution of forest carbon stocks with artificial neural network based on TM images and forest inventory data ... WANG Shaohua, ZHANG Maozhen, ZHAO Pingan, et al (998)

The GIS-based visual landscape evaluation in mountain area: a case study of Mount Nan-kun National Forest Park, Guangdong Province ... QIU Yishu, GAO Jun, ZHAN Qilin (1009)

A functional classification method for examining landscape pattern of urban wetland park: a case study on Xixi Wetland Park, China ... LI Yufeng, LIU Hongyu, ZHENG Nan, et al (1021)

Effects of AM fungi on the growth and drought resistance of *Seriphidium minchinense* under water stress ... HE Xueli, GAO Lu, ZHAO Lili (1029)

Modeled impact of irrigation on regional climate in India ... MAO Huiqin, YAN Xiaodong, XIONG Zhe, et al (1038)

The responses of photosynthetic energy use in wheat flag leaves to nitrogen application rates and light density under elevated atmospheric CO₂ concentration ... ZHANG Xucheng, YU Xianfeng, MA Yifan, et al (1046)

Enhanced drought and photooxidation tolerance of transgenic tobacco plants overexpressing pea catalase in chloroplasts ... WANG Fengde, YI Yanjun, WANG Haiqing, et al (1058)

Evaluation of wheat freezing resistance based on the responses of the physiological indices to low temperature stress ... WANG Shugang, WANG Zhenlin, WANG Ping, et al (1064)

Predicting winter wheat growth based on integrating remote sensing and crop growth modeling techniques ... HUANG Yan, ZHU Yan, WANG Hang, et al (1073)

Effects of spraying ABA on bleeding intensity in neck-panicle node, spike traits and grain yields of two different panicle-type winter wheat ... CUI Zhiqing, YIN Yanping, TIAN Qizhuo, et al (1085)

Nitrogen and phosphorus cycling from rice-duck mutual ecosystem during late rice growth season ... ZHANG Fan, SUI Peng, CHEN Yuanquan, et al (1093)

Initial exploration of the ecological costs of food production in the hilly red soil region of Southern China ... LI Xiao, XIE Yongsheng, ZHANG Yinglong, et al (1101)

Optimization strategy and management decision-making in balancing forage and livestock in Gannan pastoral area ... LIANG Tiangang, FENG Qisheng, XIA Wentao, et al (1111)

Species-area relationship in travertine area in Huanglong valley, Sichuan ... HUANG Baoqiang, LUO Yibo, AN Dejun, et al (1124)

Influencing factors of fine root lifespans in two Chinese fir plantations in subtropical China ... LING Hua, YUAN Yiding, YANG Zhijie, et al (1130)

Age structure effects on stand biomass and carbon storage distribution of *Larix olgensis* plantation ... JU Wenzhen, WANG Xinjie, WANG Xinjie (1139)

Effects on controlling banana Fusarium wilt by bio-fertilizer, chitosan, hymexazol and their combinations ... ZHANG Zhihong, PENG Guixiang, LI Huaxing, et al (1149)

Seasonal dynamics of culturable bacterium numbers in freshwater bodies of different water quality in Beijing ... GAO Cheng, HUANG Manrong, TAO Shuang, et al (1157)

Review and Monograph

On the coordinated regulation of forest transpiration by hydraulic conductance and canopy stomatal conductance ... ZHAO Ping (1164)

Impacts of plant parasitism on structure and function of ecosystems ... LI Junmin, DONG Ming (1174)

Invasion mechanisms of *Solidago canadensis* L.: a review ... YANG Ruyi, ZAN Shuting, TANG Jianjun, et al (1185)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 4 期 (2011 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 4 2011

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 冯宗炜
主 管 中国科学技术协会
主 办 中国生态学会
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

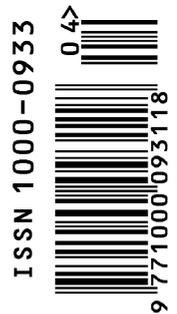
Editor-in-chief FENG Zong-Wei
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

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 70.00 元