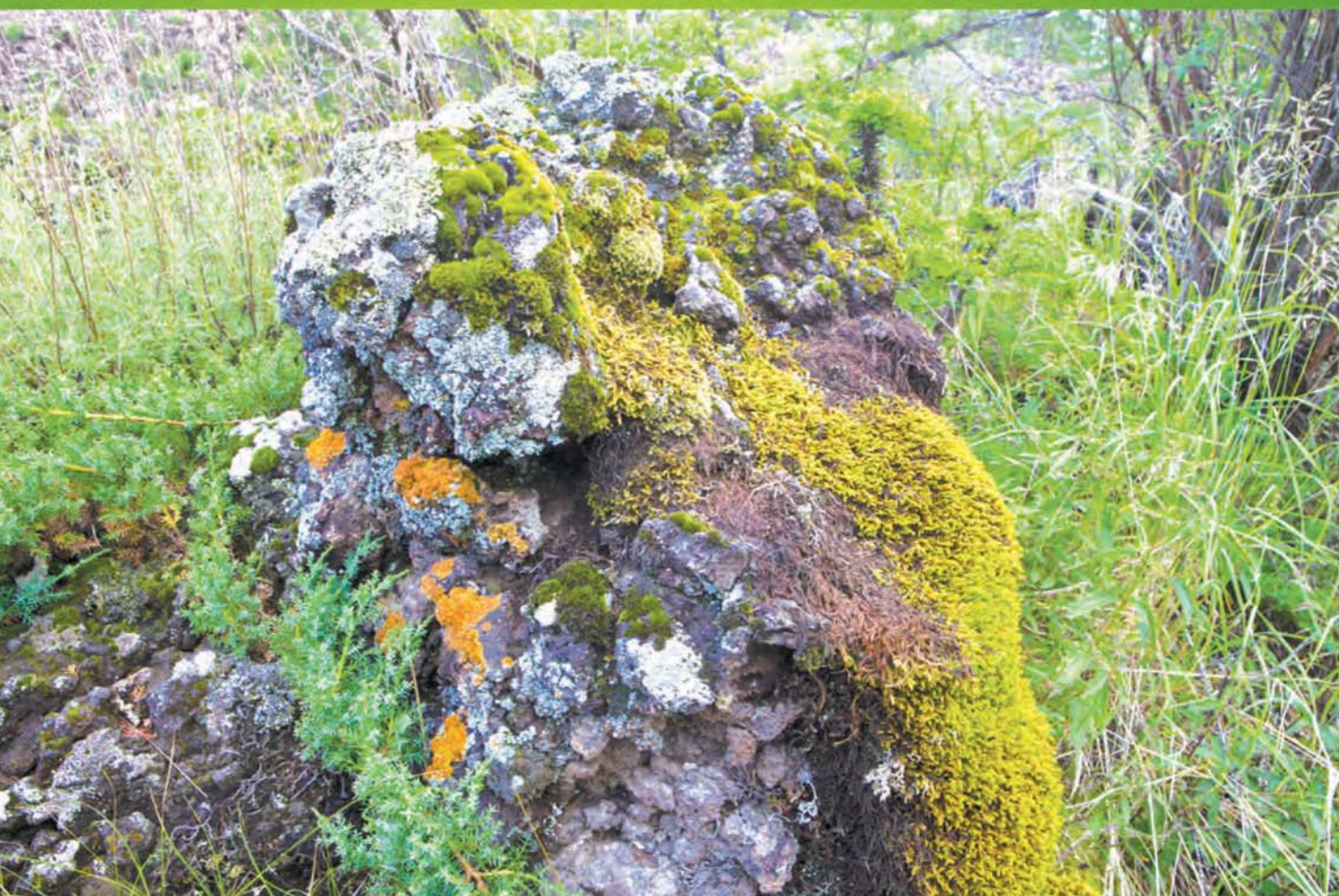


ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第6期 Vol.32 No.6 **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 6 期

2012 年 3 月 (半月刊)

目 次

高原草被退化程度的遥感定量监测——以甘肃省玛曲县为例.....	周坚华,魏怀东,陈芳,等 (1663)
基于着生藻类的太子河流域水生态系统健康评价.....	殷旭旺,渠晓东,李庆南,等 (1677)
哀牢山常绿阔叶林水源涵养功能及其在应对西南干旱中的作用.....	杞金华,章永江,张一平,等 (1692)
青岛沿岸水体原生生物群落与水质状况的关系.....	杨金鹏,姜勇,胡晓钟 (1703)
增温对青藏高原高寒草甸生态系统固碳通量影响的模拟研究.....	亓伟伟,牛海山,汪诗平,等 (1713)
三峡水库消落带植物叶片光合与营养性状特征.....	揭胜麟,樊大勇,谢宗强,等 (1723)
三峡库区澎溪河鱼类时空分布特征的水声学特性.....	任玉芹,陈大庆,刘绍平,等 (1734)
强壮前沟藻化感物质分析.....	冀晓青,韩笑天,杨佰娟,等 (1745)
饥饿对中间球海胆 MYP 基因转录表达的影响.....	秦艳杰,孙博林,李霞,等 (1755)
贺兰山牦牛冬春季的生境选择.....	赵宪南,苏云,刘振生,等 (1762)
利用元胞自动机研究一类捕食食饵模型中的斑块扩散现象.....	杨立,李维德 (1773)
转 <i>Cry1Ab</i> 和 <i>Cry1Ac</i> 融合基因型抗虫水稻对田间二化螟和大螟种群发生动态的影响.....	李志毅,隋贺,徐艳博,等 (1783)
光谱和光强度对西花蓟马雌虫趋光行为的影响.....	范凡,任红敏,吕利华,等 (1790)
荧光素对舞毒蛾核型多角体病毒不同地理品系的增效与光保护作用.....	王树娟,段立清,李海平,等 (1796)
不同利用强度下绿洲农田土壤微量元素有效含量特征.....	李海峰,曾凡江,桂东伟,等 (1803)
稻田温室气体排放与土壤微生物菌群的多元回归分析.....	秦晓波,李玉娥,石生伟,等 (1811)
黄土高原典型区域土壤腐殖酸组分部分布特征.....	党亚爱,李世清,王国栋 (1820)
紫色土菜地生态系统土壤 N_2O 排放及其主要影响因素.....	于亚军,王小国,朱波 (1830)
中国亚热带典型天然次生林土壤微生物碳源代谢功能影响因素.....	王芸,欧阳志云,郑华,等 (1839)
基于 K-均值算法模型的区域土壤数值化分类及预测制图.....	刘鹏飞,宋轩,刘晓冰,等 (1846)
淹水条件下秸秆还田的面源污染物释放特征.....	杨志敏,陈玉成,张赞,等 (1854)
推迟拔节水对小麦氮素积累与分配和硝态氮运移的影响.....	王红光,于振文,张永丽,等 (1861)
江苏省冬小麦渍害的风险区划.....	吴洪颜,高苹,徐为根,等 (1871)
草原植物根系起始吸水层深度测定方法及其在不同群落状态下的表现.....	郭宇然,王炜,梁存柱,等 (1880)
亚热带 6 种树种细根序级结构和形态特征.....	熊德成,黄锦学,杨智杰,等 (1888)
高寒草原植物群落种间关系的数量分析.....	房飞,胡玉昆,张伟,等 (1898)
菊花近缘种属植物幼苗耐阴特性分析及其评价指标的确定.....	孙艳,高海顺,管志勇,等 (1908)
南方菟丝子寄生对喜旱莲子草生长及群落多样性的影响.....	王如魁,管铭,李永慧,等 (1917)
基于 cDNA 克隆的亚热带阔叶林和针叶林生态系统担子菌漆酶基因多样性及其群落结构研究.....	陈香碧,苏以荣,何寻阳,等 (1924)
细柄阿丁枫和米槠细根寿命影响因素.....	黄锦学,凌华,杨智杰,等 (1932)
基于 TM 遥感影像的森林资源线性规划与优化配置研究.....	董斌,陈立平,王萍,等 (1943)
基于 CFD 的城市绿地空间格局热环境效应分析.....	刘艳红,郭晋平,魏清顺 (1951)
专论与综述	
生态补偿效率研究综述.....	赵雪雁 (1960)
研究简报	
黄河三角洲石油生产对东营湿地底栖动物群落结构和水质生物评价的影响.....	陈凯,肖能文,王备新,等 (1970)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 34 * 2012-03



封面图说: 植物生命演进石——这不是一块普通的火山岩,而是一块集中展示植物“原生演替”过程最有价值的石头。火山熔岩冷却后的玄武岩是无生命无土壤的真正“裸石”,风力使地衣的孢子传入,在一定温湿度环境下,开始出现了壳状地衣,壳状地衣尸体混合了自然风化的岩石碎屑提供的条件使叶状、枝状地衣能够侵入,接着苔藓侵入,是它们启动了土壤的形成,保持了土壤的湿度,并使营养物质反复循环。于是蕨类定居,草丛长了起来,小灌木出现,直到树木生长,最终形成森林。

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

DOI: 10.5846/stxb201102250217

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.

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 grililipes* and *Castanopsis carlesii* forests. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(6): 1932-1942.

细柄阿丁枫和米槠细根寿命影响因素

黄锦学^{1,2}, 凌 华^{1,2}, 杨智杰^{1,2}, 卢正立^{1,2}, 熊德成^{1,2}, 陈光水^{1,2,*}, 杨玉盛^{1,2}

(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: 采用微根管技术对福建建瓯万木林自然保护区细柄阿丁枫 (ALG) 和米槠 (CAC) 细根进行了连续 2 a 的观测。估计细根寿命采用 Kaplan-Meier 方法, 用对数秩检验 (log-rank test) 比较单一因素 (细根直径、序级、出生年份、出生季节、土层以及邻近细根数量) 对细根寿命的影响。同时采用 Cox 比例风险回归分析方法, 分析上述因素对细根存活的影响程度。结果表明: 细柄阿丁枫细根平均寿命和中值寿命分别为 (286±8) d 和 (184±9) d, 而米槠的则分别为 (261±10) d 和 (212±8) d。仅考虑单一因素时, 出生季节、径级、序级以及邻近细根数量对细柄阿丁枫和米槠细根寿命皆有极显著影响 ($P<0.01$); 出生年份对米槠细根寿命有极显著影响 ($P<0.01$), 但对细柄阿丁枫细根寿命的影响无统计学意义 ($P>0.05$); 土层深度对细柄阿丁枫细根寿命有极显著影响 ($P<0.01$), 而对米槠细根寿命的影响无统计学意义 ($P>0.05$)。Cox 比例风险回归分析则表明出生年份对二者细根寿命的影响皆无统计学意义 ($P>0.05$), 影响因素按照影响程度大小排列均依次是序级、出生季节、细根直径、邻近细根数量, 而土层对细柄阿丁枫细根寿命的影响最弱, 对米槠细根寿命的影响无统计学意义 ($P>0.05$)。

关键词: 常绿阔叶林; 细根寿命; 微根管; Cox 比例风险回归

Fine root longevity and controlling factors in subtropical *Altingia grililipes* and *Castanopsis carlesii* forests

HUANG Jinxue^{1,2}, LING Hua^{1,2}, YANG Zhijie^{1,2}, LU Zhengli^{1,2}, XIONG Decheng^{1,2}, CHEN Guangshui^{1,2,*}, YANG Yusheng^{1,2}

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 production and turnover is a significant component of the carbon cycle in forest ecosystems. Fine root survivorship was monitored by minirhizotrons during two successive years in two subtropical evergreen broadleaved forests (*Altingia grililipes*, ALG; and, *Castanopsis carlesii*, CAC) in Wanmulin Natural Reserve, Jian-ou, Fujian province. Root longevity was estimated by the Kaplan-Meier method and differences among single factors, including fine root diameter ($d<0.3$ mm, $0.3<d<0.6$ mm, $0.6<d<1$ mm), order (first order, higher order), year of birth (2007, 2008), season of birth (spring, summer, autumn, winter), soil depth ($0<D<20$ cm, $20<D<40$ cm), and number of neighbor root ($N<5$, $5<N<10$, $10<N$), were tested by the Log-rank test. Cox proportional hazards regression analysis was also applied to assess the relative effects of these factors on root survivorship. Mean and median fine root longevity of ALG were (286±8) d and (184±9) d, respectively, while CAC's were (261±10) d and (212±8) d. When considering the individual factor alone, root longevity were significantly affected by season of birth, root diameter, order, and number of neighbor root ($P<0.01$ for all cases) in both two forests; year of birth had significant effect only in CAC ($P<0.01$) and soil depth had significant

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: 2011-02-25; 修订日期: 2011-05-30

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

effect only in ALG ($P<0.01$). Mean fine root longevity of ALG in summer was (204 ± 14) d, which was respectively lower than in spring (290 ± 11) d, autumn (307 ± 13) d and winter (263 ± 25) d. Mean fine root longevity of CAC in summer and winter were (164 ± 20) d and (156 ± 16) d, respectively, which were significantly lower than in spring (269 ± 15) d and autumn (346 ± 17) d. With the increase of fine root diameter, median fine root longevity increased significantly in ALG ($P<0.01$); while in CAC, median fine root longevity increased from $d<0.3$ mm diameter to $0.3<d<0.6$ mm diameter, and showed little change with further increase in diameter ($P>0.05$). With the increase of root order, mean fine root longevity of ALG and CAC were increased significantly ($P<0.01$). Mean fine root of ALG's first order and higher order were (267 ± 8) d and (559 ± 32) d, respectively, While CAC's were (247 ± 10) d and (425 ± 41) d. The number of fine root in ALG and CAC was decreased with root order increased. With the addition of number of neighbor root, mean fine root longevity of ALG and CAC were increased significantly ($P<0.01$). Furthermore, mean fine root longevity of ALG in $0<N<5$, $5<N<10$ and $10<N$ was (226 ± 9) d, (309 ± 15) d and (467 ± 21) d, respectively. While CAC's was (246 ± 11) d, (290 ± 25) d and (438 ± 45) d. Cox proportional hazards regression showed that in both two forests year of birth had no significant effects on root longevity ($P>0.05$). According to the size of impact on root longevity, these factors can be ranked as: root order, season of birth, root diameter, and number of neighbor root. Soil depth had the weakest effect in ALG while had no effect in CAC ($P>0.05$).

Key Words: evergreen broadleaved forest; fine root longevity; minirhizotron; Cox proportional hazards regression

细根,作为植物根系的动态组成部分,是全球陆地生态系统碳循环的重要组成部分^[1]。根据 Jackson 等^[2]对全球不同植被的估计,仅 <2 mm 细根的周转,每年要消耗全球陆地生态系统净初级生产力 30% 以上,且细根通过周转每年向地下输入有机物占总输入的 50% 左右^[3]。细根寿命是细根周转的内在机制,它的长短影响树木对光合产物的地下分配^[4]以及生态系统中养分的循环过程^[1]。采用微根管法估计细根寿命,它能够连续观测细根的生长、衰老和死亡且不干扰其生命过程,是一种非破坏性研究方法,能够更为精确地估测细根寿命^[5]。目前对细根寿命的研究表明,细根寿命的长短是内外因素综合影响的结果^[6]。这些因素包括:树种^[7]、细根出生季节^[8]、细根直径^[9]、序级^[10]、土层^[6]以及菌根侵染^[11]等。这些因素中,哪些是影响细根寿命的重要因素? Cox 比例风险回归分析^[12]为解决这一问题提供了帮助,它通过建立生存时间和影响因素之间的多元回归关系,来确定各因素的影响程度。这种分析在控制其他因素的同时,可以定量某一因素在不同水平上的死亡危险比率^[13]。然而目前国内采用微根管技术开展细根寿命的研究仍然很少^[14],同时考察多个因子对细根寿命的影响就更少^[15]。

中国亚热带作为“回归带上的绿洲”,是一个典型的生态过渡带,是全球变化的敏感地带,其典型地带性植被为常绿阔叶林,而目前有关我国常绿阔叶林细根寿命及影响因素尚未见报道。本研究目的是以中亚热带典型常绿阔叶林细柄阿丁枫和米槠为研究对象,通过微根管技术观测 2007—2009 年细根的生长和死亡状况,估计细根的寿命,研究影响细根寿命的因素同时确定这些因素的影响程度,以期为进一步研究细柄阿丁枫和米槠群落生态系统养分的循环过程提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地位于福建省建瓯市万木林自然保护区($27^{\circ}02'28''$ — $27^{\circ}03'32''$ N, $118^{\circ}08'22''$ — $118^{\circ}09'23''$ E),地处武夷山脉东南,属中亚热带季风气候,年平均气温为 19.4°C ,年均降水量 1731.4 mm,年均蒸发量 1466 mm,相对湿度 81%,全年无霜期达 277 d,土壤为花岗岩发育的红壤。万木林迄今已有 600 多年的历史,由原人工杉木林逐渐演替为如今的中亚热带常绿阔叶林,其中米槠群落和细柄阿丁枫群落为中亚热带代表性群落类型(米槠群落:树龄 155a,海拔 510m,平均树高和胸径分别为 23m 和 29.4cm;细柄阿丁枫群落:树龄 125a,海拔 390m,平均树高和胸径分别为 28m 和 45.2cm)。

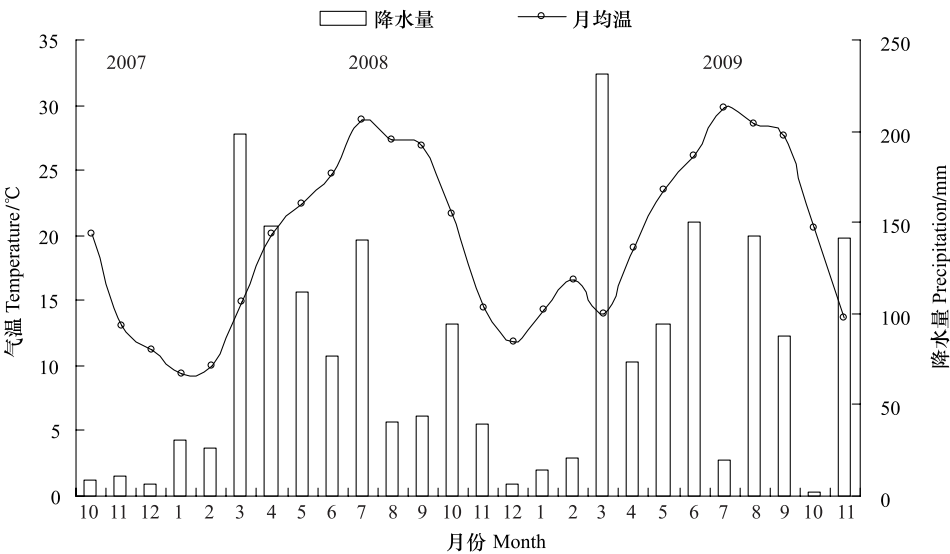


图1 试验期内试验地月均气温和降雨量

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

表1 细柄阿丁枫群落和米槎群落土壤理化性质

土层 Soil depth	米槎群落/CAC			细柄阿丁枫群落/ALG		
	有机质	全 N	全 P	有机质	全 N	全 P
	Organic matters /(g/kg)	Total N /(g/kg)	Total P /(g/kg)	Organic matters /(g/kg)	Total N /(g/kg)	Total P /(g/kg)
0<D<20 cm	45.0	1.30	0.41	63.6	2.91	0.37
20<D<40 cm	23.6	0.68	0.30	20.8	1.16	0.33

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置和微根管安装

2007 年 5 月,两群落沿山坡自上而下分别布设 3 个 20 m×20 m 的样地,上坡和下坡随机安装 6 个由 PVC (聚氯乙烯)材料制成的透明圆形管(微根管),中坡随机安装 8 个微根管,每个群落均安装 20 个微根管。微根管内径为 5 cm,长度为 90 cm,管口钻一个孔,以保证每次取样影像位置相同。安装微根管时,先用特制的钢钻,在与地面成约 45°角方向,钻一个与微根管直径接近的管洞,然后将微根管斜插入土壤,插入长度约为 70—80 cm(垂直深度 50—55 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,另外管下用枯落物覆盖尽量维持土壤的原状环境^[13, 16]。

1.2.2 根系影像采集和数据处理

从 2007 年 10 月到 2009 年 11 月对根系进行为期 2a 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,图片实际的大小为宽 1.4 cm×长 1.8 cm,每管收集图片 40—45 个左右。图片带回实验室根系分析系统 WinRHIZO TRON MF 2005 年图像分析软件进行数据分析处理。

影响细根寿命的因素有细根出生年份、出生季节、细根直径、序级、土层以及邻近细根数量。将观测到细根直径划分为 3 个等级,即<0.3 mm、0.3—0.6 mm 和 0.6—1 mm。试验观测期从 2007 年 10 月到 2009 年 11 月,讨论 2007 年 11 月到 2009 年 10 月出生和 2007 年 12 月到 2009 年 11 月死亡的细根。按照细根出生年份,分为 2007 年、2008 年出生;根据中亚热带气候情况,把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);根据微根管垂直观测深度,将细根出生深度分为 0—20 cm、20—40 cm

和 40—60 cm 3 个层次;根据 Fitter^[17]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。由于实际观测图片范围较小,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;邻近细根数量指的是在一张观测图片中总的细根数量,根据收集到的细根图片,将邻近细根数量分为<5,5—10,以及>10 三个等级。

1.3 数据分析

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。由于不同林分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($d < 0.3$ mm、 $0.3 < d < 0.6$ mm 和 $0.6 < d < 1$ mm)、根序等级(一级根和高级根)、土层($0 < D < 20$ cm 和 $20 < D < 40$ cm)、出生年份(2007 年和 2008 年)、出生季节(春、夏、秋、冬)以及邻近细根数量($N < 5$, $5 < N < 10$ 和 $10 < N$)对细根存活率曲线的影响。采用 SPSS 13.0 中的 Cox 比例风险回归分析方法,同时分析上述因素对细根存活的影响程度。这种分析方法可看成是带有协变量的生存分析。比例风险回归方程 $h(t, X) = h_0(t) \exp(\beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_m X_m)$,其中 $X_1, X_2, \dots, X_m$ 是协变量, $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m$ 是回归系数由样本估计而得。 $\beta_m > 0$ 表示该协变量是危险因素,越大使生存时间越短; $\beta_m < 0$ 则表示该协变量是保护因素,越大使生存时间越长。其中 $\exp(\beta)$ 被定义为死亡危险率^[9],这可以解释为在控制其他因素影响条件下,目标因素变化一个单位,细根死亡危险程度或细根寿命的变化^[9,15],而且它可以通过百分数来表示,即 $(\exp(\beta) - 1) \times 100\%$ 。例如,相对于春季,夏季细根死亡危险程度的变化;或者细根直径增大 0.1 mm,导致细根死亡危险程度的变化。在 Cox 回归分析中,细根的出生年份、出生季节和根序皆被定义为类型变量,细根直径、土层和邻近细根数量为连续变量^[13,15](单位分别是 0.1 mm, 1 cm 和 1 个)。

2 结果

2.1 细根寿命

细柄阿丁枫和米楮总体平均寿命分别为 (286 ± 8) d 和 (261 ± 10) d,总体中值寿命分别为 (184 ± 9) d 和 (212 ± 8) d。通过对数秩检验比较单一因素对细根寿命的影响,结果发现:出生季节、径级、序级以及邻近细根数量对细柄阿丁枫和米楮细根寿命皆有极显著影响($P < 0.01$);出生年份对米楮细根寿命有极显著影响($P < 0.01$),但对细柄阿丁枫细根寿命的影响无统计学意义($P > 0.05$);土层深度对细柄阿丁枫细根寿命有极显著影响($P < 0.01$),而对米楮细根寿命的影响无统计学意义($P > 0.05$)。

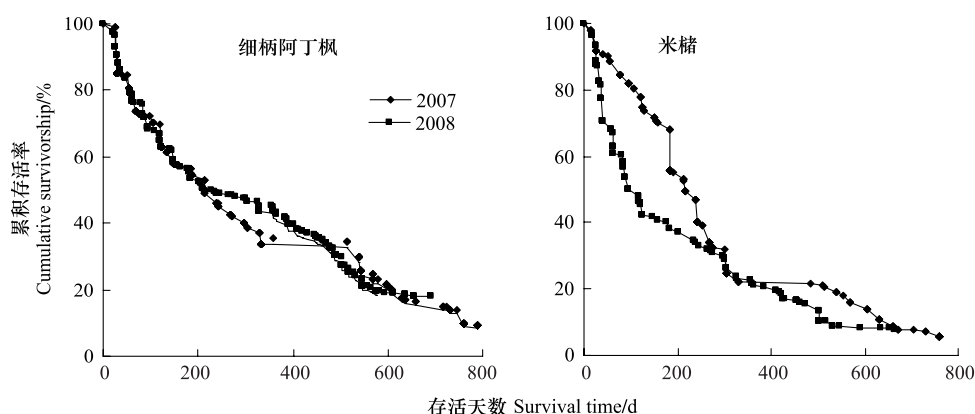


图 2 出生年份对两树种细根寿命的影响

Fig. 2 The effect of year of birth on fine-root longevity in *Altingia grilipes* and *Castanopsis carlesii*

2.1.1 出生年份和出生季节对两树种细根寿命的影响

出生年份对米楮细根寿命具有极显著影响($P < 0.01$);而在细柄阿丁枫中,这种差异并不显著($P > 0.05$)。同时,两树种年际间细根直径均显示具显著差异($P < 0.05$),而且在同一年份里均显示了树种间的差异($P < 0.05$)。

Table 2 Mean diameter (mean±standard), mean and median longevity of fine root (mean or median±SE) in different factors in <i>Altingia grilipes</i> and <i>Castanopsis carlesii</i>						
细根分类 Root classification	细柄阿丁枫 ALG			米槠 CAC		
	平均直径/mm Mean diameter	平均寿命/d Mean root lifespan	中值寿命/d Median root lifespan	平均直径/mm Mean diameter	平均寿命/d Mean root lifespan	中值寿命/d Median root lifespan
出生年份						
2007 年	0.28±0.098Aa	316±14	213±14	0.22±0.112Ba	284±16	215±13
2008 年	0.24±0.011Ab	303±11	236±28	0.29±0.147Bb	199±14	95±10
出生季节						
春 Spring	0.33±0.186Aa	290±11	202±30	0.33±0.144Aa	269±15	246±11
夏 Summer	0.27±0.093Ab	204±14	100±7	0.31±0.176Ba	164±20	64±10
秋 Autumn	0.27±0.085Ab	307±13	213±20	0.25±0.110Bb	346±17	268±14
冬 Winter	0.41±0.384Ac	263±25	201±17	0.22±0.117Bb	156±16	95±14
直径等级						
$d<0.3$ mm	0.24±0.038Aa	261±9	150±10	0.21±0.051Ba	240±11	184±8
$0.3<d<0.6$ mm	0.37±0.067Ab	323±14	217±28	0.39±0.079Bb	310±20	265±11
$0.6<d<1.0$ mm	0.75±0.109Ac	376±44	410±192	0.70±0.084Ac	266±38	247±14
序级 Root order						
一级根 first order	0.30±0.175Aa	267±8	156±11	0.28±0.138Ba	247±10	202±9
高级根 higher order	0.39±0.170Ab	559±32	599±73	0.39±0.154Ab	425±41	410±99
土层深度						
$0<D<20$ cm	0.31±0.114Aa	164±10	94±5	0.27±0.131Ba	251±12	190±6
$20<D<40$ cm	0.31±0.199Aa	341±10	246±22	0.31±0.155Ab	269±16	244±7
邻近细根数量						
$0<N<5$	0.32±0.218Aa	226±9	124±8	0.30±0.151Ba	246±11	190±14
$5<N<10$	0.28±0.078Ab	309±15	246±20	0.24±0.103Bb	290±25	215±11
neighbor root						
$10<N$	0.29±0.086Ab	467±21	543±4	0.23±0.075Bb	438±45	306±7
同一行具有相同大写字母表示两树种无显著差异 ($P>0.05$), 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 ($P<0.05$)						

出生季节对两树种细根累积存活率皆有极显著差异($P<0.01$)。其中,细柄阿丁枫夏季出生的细根平均寿命为(204 ± 14)d,显著低于春季(290 ± 11)d、秋季(307 ± 13)d 以及冬季(263 ± 25)d 出生的($P<0.05$);而米槠夏季和冬季出生的细根平均寿命分别为(164 ± 20)d 和(156 ± 16)d,显著低于春季(269 ± 15)d 和秋季(346 ± 17)d。

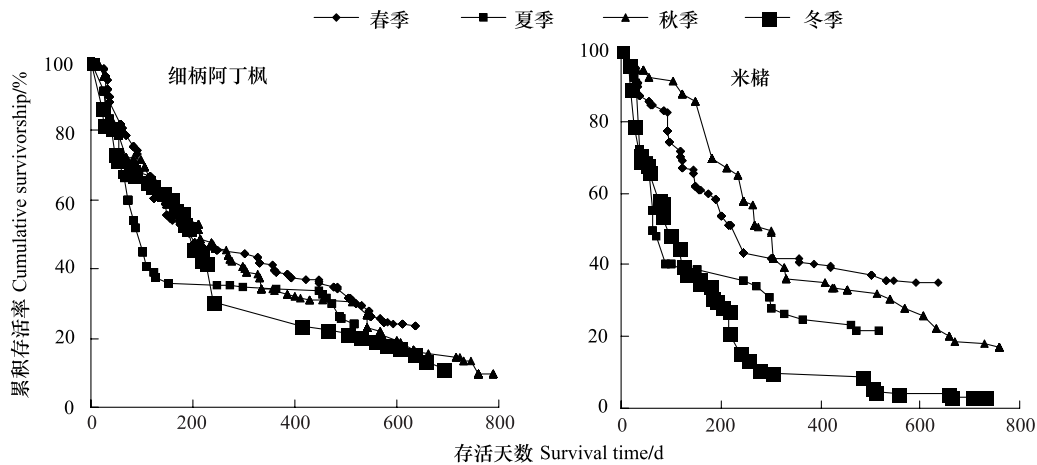


图3 出生季节对两树种细根寿命的影响

Fig.3 The effect of season of birth on fine-root longevity in *Altingia grilipes* and *Castanopsis carlesii*

2.1.2 细根形态结构对两树种细根寿命的影响

细柄阿丁枫细根中值寿命随细根径级的增大而极显著增加($P<0.01$);细根直径亦极显著影响米槠细根的累积存活率($P<0.01$),米槠细根中值寿命头两个等级的随着径级的增大而显著增大,米槠细根直径 $0<d<0.3$ mm 和 $0.6<d<1$ mm 中值寿命分别为(184 ± 8) d 和(265 ± 11)d,而 $0.6<d<1$ mm 与前两级细根相比细根寿命没有显著差异($P>0.05$)。

随着序级的增大,细柄阿丁枫和米槠细根平均寿命极显著增加($P<0.01$),细柄阿丁枫一级根和高级根平均寿命分别为(267 ± 8) d 和(559 ± 32) d,米槠的为(247 ± 10) d 和(425 ± 41) d。二者一级根和高级根的累积存活率均存在显著差异($P<0.05$),且根序平均直径之间亦存在显著差异($P<0.05$)。同时,细根的数量随着序级的增大而减小,细柄阿丁枫共观测到一级根和高级根的数量分别为 1078 个和 76 个,一级根/高级根为 14;米槠观测到的为 530 个和 45 个,一级根/高级根为 12。

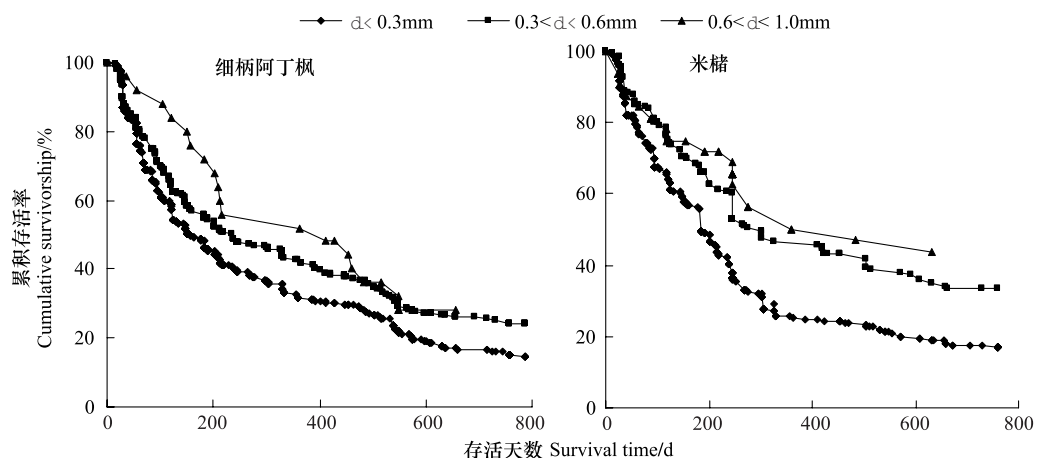


图4 径级对两树种细根寿命的影响

Fig.4 The effect of the class of diameter on fine-root longevity in *Altingia grilipes* and *Castanopsis carlesii*

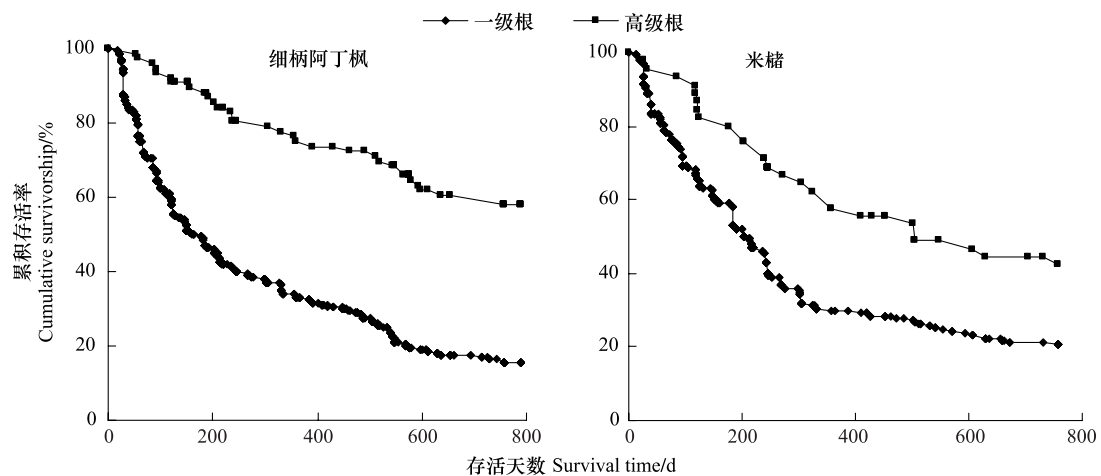


图5 序级对两树种细根寿命的影响

Fig. 5 The effect of root order on root longevity in *Altingia grilipes* and *Castanopsis carlesii*

2.1.3 土层对两树种细根寿命的影响

由于土层 $40 < D < 60$ cm 观测到的细根数量偏少,其中细柄阿丁枫总共观测到细根 36 个,仅占全部的 3.1%,米楮只观测到 4 个,仅仅占全部的 0.7%。故在分析时去除了 $40-60$ cm 土层出生的细根。通过对数秩检验比较土层对细根寿命的影响,结果发现土层极显著影响细柄阿丁枫细根寿命 ($P < 0.01$),对米楮细根的影响则不显著 ($P > 0.05$)。随着土层深度的增加,二者细根的中值寿命均延长,细柄阿丁枫土层 $20 < D < 40$ cm 中细根的中值寿命 (246 ± 22) d 大于 $0 < D < 20$ cm 的 (94 ± 5) d;米楮 $20 < D < 40$ cm 土层细根寿命 (244 ± 7) d 亦大于 $0 < D < 20$ cm 的 (190 ± 6) d。

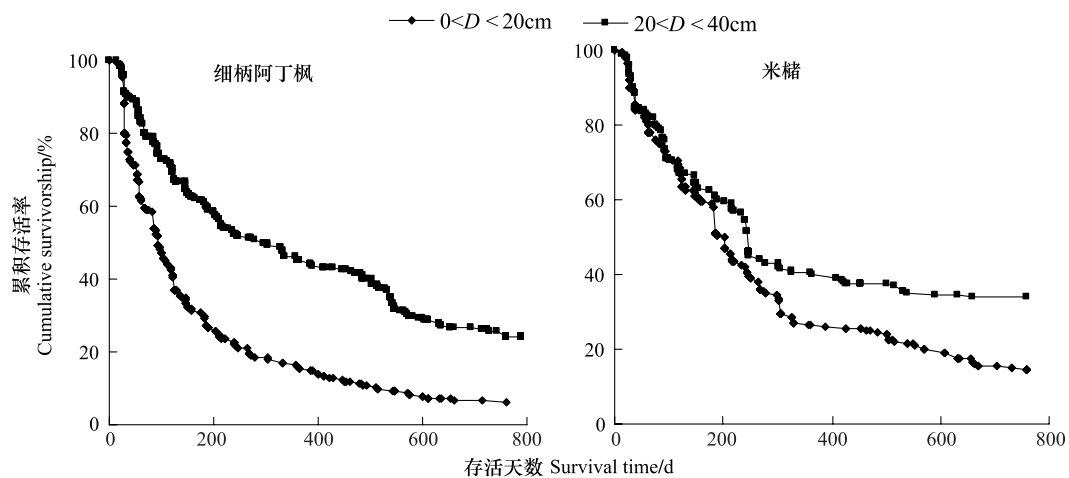


图6 土层对两树种细根寿命的影响

Fig. 6 The effect of soil depth on root longevity in *Altingia grilipes* and *Castanopsis carlesii*

2.1.4 邻近细根数量对两树种细根寿命的影响

随着邻近细根数量的增大,细柄阿丁枫和米楮细根的平均寿命皆极显著增加 ($P < 0.01$)。细柄阿丁枫邻近细根数量在 $0 < N < 5$ 、 $5 < N < 10$ 以及 $10 < N$ 的细根平均寿命分别为 (226 ± 9) d、(309 ± 15) d 和 (467 ± 21) d,米楮的为 (246 ± 11) d、(290 ± 25) d 和 (438 ± 45) d。

2.2 影响细根寿命的主要因素

Cox 回归分析表明,在控制其他因素影响时,出生季节、土层、邻近细根数量、序级以及细根的直径皆显著影响细柄阿丁枫的细根寿命 ($P < 0.05$)。细柄阿丁枫细根的直径每增加 0.1 mm,其死亡危险率就降

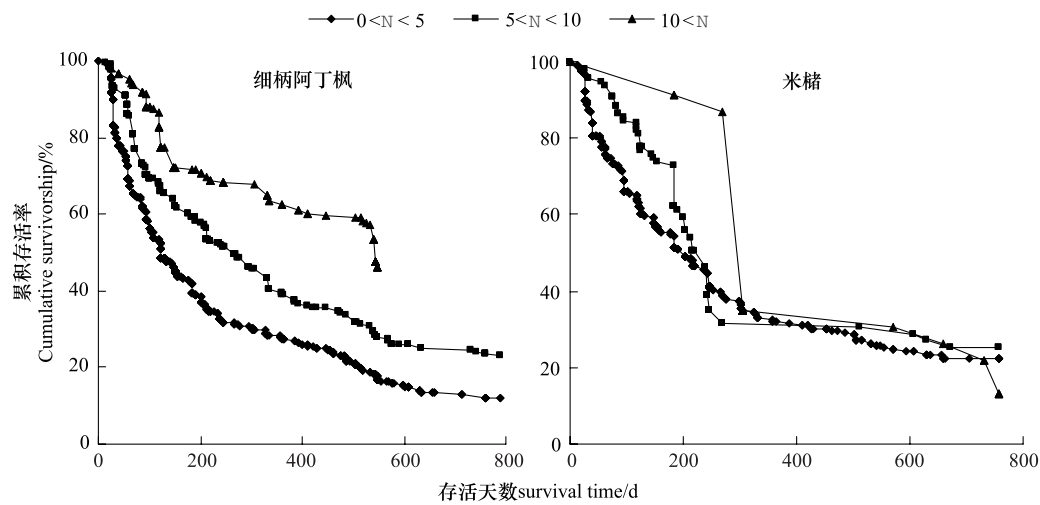


图 7 邻近细根数量对两树种细根寿命的影响

Fig. 7 The effect of number of neighbor root on root longevity in *Altingia grilipes* and *Castanopsis carlesii*

低 10% ($= (0.900 - 1) \times 100\%$), 也即细根寿命延长 10%; 高级根与一级根相比, 细根寿命延长 68%; 土层每增加 1 cm, 细根寿命仅延长 2%; 邻近细根数量每增加 1 个, 细根寿命延长 6%; 与春季出生的细根相比, 夏季和冬季出生的细根死亡危险率分别增加 32% 和 52%, 秋季仅增加 11%。因此, 仅从死亡危险率角度看, 在这些因子当中, 序级对细柄阿丁枫细根寿命影响最大, 其次是出生季节, 接着为细根直径, 后为邻近细根数量, 土层最弱, 而出生年份在统计上无影响 ($P > 0.05$)。

与细柄阿丁枫相似的是, 在控制其他因素影响时, 出生季节、邻近细根数量、序级以及细根直径对米槎细根寿命亦有极显著影响 ($P < 0.01$), 出生年份在统计学上无影响 ($P > 0.05$), 唯一不同的是土层对米槎细根寿命的影响无统计学意义 ($P > 0.05$)。在这些因子中, 亦是序级对米槎细根寿命影响最大 (高级根与一级根相比, 细根寿命延长 48%), 接着为出生季节, 即秋季出生与春季相比, 细根寿命亦延长 45%, 其后是细根直径 (每增加 0.1 mm, 死亡危险率降低 16%); 最后是邻近细根数量, 邻近细根数量增加 1 个, 细根寿命仅延长 6%。

表 3 细柄阿丁枫细根寿命影响因素的 Cox 比例风险回归分析

Tab. 3 Results of Cox proportional hazards regression analysis for influencing factors of root longevity in <i>Altingia grilipes</i>						
影响因子 (协变量) Effect factors (Covariate)	df	参数估计 Parameter estimate (β)	标准误 Standard error (SE)	Wald 值 (Chi-square)	P	死亡危险率 Hazard ratio
出生年份 (2007 年为参考) Year (2007 for reference)	1	0.188	0.126	2.209	0.137	1.207
出生季节 (春季为参考) Season (Spring for reference)	3			11.118	0.011	
夏季 Summer	1	0.277	0.157	3.123	0.077	1.319
秋季 Autumn	1	0.104	0.136	0.582	0.445	1.109
冬季 Winter	1	0.417	0.141	8.665	0.003	1.517
土层 Soil depth/cm	1	-0.024	0.004	37.041	0.000	0.976
邻近细根数量 Number of neighbor root	1	-0.058	0.009	42.993	0.000	0.943
序级 (1 级根为参考) Root order (1-order for reference)	1	-1.151	0.206	31.325	0.000	0.316
细根直径 Fine root diameter/0.1 mm	1	-0.105	0.294	12.648	0.000	0.900

表 4 米楮细根寿命影响因素的 Cox 比例风险回归分析

Table 4 Results of Cox proportional hazards regression analysis for influencing factors of root longevity in *Castanopsis carlesii*

影响因子(协变量) Effect factors (Covariate)	df	参数估计 Parameter estimate(β)	标准误 Standard error(SE)	Wald 值 (Chi-square)	P	死亡危险率 Hazard radio
出生年份(2007 年为参考) Year (2007 for reference)	1	0.060	0.157	0.147	0.701	1.062
出生季节(春季为参考) Season (Spring for reference)	3			53.234	0.000	
夏季 Summer	1	0.374	0.202	3.412	0.065	1.453
秋季 Autumn	1	-0.597	0.197	9.204	0.002	0.551
冬季 Winter	1	0.358	0.196	3.330	0.068	1.430
土层 Soil depth/cm	1	0.004	0.007	0.356	0.551	1.004
邻近细根数量 Number of neighbor root	1	-0.067	0.023	-8.620	0.003	0.935
序级(1 级根为参考) Root order (1-order for reference)	1	-0.657	0.223	8.698	0.003	0.518
细根直径 Fine root diameter/0.1 mm	1	-0.171	0.488	12.309	0.000	0.843

3 讨论

本研究结果显示,两常绿阔叶树种细根累积存活率无显著差异($P>0.05$),细柄阿丁枫和米楮总体中值寿命分别为 (184 ± 9) d 和 (212 ± 8) d,这说明在本研究区域内两种常绿阔叶树种细根寿命近似。与同属中亚热带地区的针叶树种(凌华等^[18]对 18 年杉木和 88 年杉木研究得到两片林子细根中值寿命分别为 (215 ± 17) d 和 (230 ± 15) d)相比,两常绿阔叶树寿命略小。于水强^[14]估测同一立地条件下水曲柳和落叶松细根寿命表明,阔叶树水曲柳细根寿命要显著长于针叶树落叶松,两树种的中值寿命分别为 (336 ± 13) d 和 (64 ± 3) d。其结果与 Coleman 等^[19]研究结果正好相反,Coleman 等^[19]研究脂松和杨树发现,常绿针叶树种的细根寿命要长于落叶阔叶树种(脂松细根的中值寿命为 291d,而杨树只有 149d)。而 Eissenstat & Yanai^[20]认为,树种间细根寿命存在差异的原因是多方面的,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生理结构)等,并通过对不同树种的细根寿命比较发现,生长快的树种细根寿命一般较短,慢生树种细根寿命偏长。细柄阿丁枫和米楮树龄都超过了 100a,生长趋于稳定,而且细柄阿丁枫和米楮同属于常绿阔叶树种,生长特性差不多,气候条件一致,这些因素的影响可能强于树种的差异,这可能造就了树种差异对细柄阿丁枫和米楮细根寿命影响不显著。

出生季节对细柄阿丁枫和米楮细根寿命有显著影响($P<0.01$)。米楮夏季和冬季出生的细根显著低于春季和秋季的($P<0.05$);细柄阿丁枫夏季出生的细根显著低于春季、秋季以及冬季的($P<0.05$)。这与 López 等^[8]以及 Guo 等^[15]均不同;López 等^[8]对冬青栎细根寿命研究表明,夏季(平均寿命 (154 ± 7) d)和冬季(平均寿命 (151 ± 11) d)出生的细根寿命长于春季(平均寿命 (100 ± 6) d)和秋季(平均寿命 (109 ± 6) d),而 Guo 等^[15]对美国长叶松的研究表明细根生于冬天和春天的总体而言寿命长于出生于夏天和秋天的。夏季温度高,较高的土壤温度常常导致细根呼吸加强^[21],维持消耗增加,甚至超过碳水化合物化合物的供应,导致细根死亡,本研究区地处中亚热带,夏季的高温可能导致细根寿命缩短。冬季细根寿命较小,可能受到碳水化合物化合物的限制。除此之外,米楮冬季出生的细根寿命较短与此季节出生细根直径比较小有关,其直径仅 0.22 mm(表 2)。春季出生的细根具有较长的寿命在不同森林生态系统中是一个常见的格局^[22],本研究亦有这样的趋势;而秋季出生的细根,随土壤温度降低,木质化程度增加^[23],细根寿命有延长的趋势。

土层极显著影响细柄阿丁枫细根寿命($P<0.01$),而对米楮细根寿命的影响不显著($P>0.05$)。值得注意的是:随着土层深度的增加,二者细根的中值寿命均延长(表 2)。Baddeley 和 Watson^[16]曾报道深层土壤的细根寿命大于上层土壤的细根,同样的结果也出现在对其他果树的研究中^[24]。相比之下,Hendrick 和

Pregitzer^[25]发现糖槭的根在较浅的土壤中更有利于生存。有关细根寿命随土层变化的机理目前仍不清楚,但可以肯定的是深层土壤温度和湿度波动较小,同时细根受到病原体和植食性动物的压力也较小^[22]。于水强^[14]研究报道在生长季土壤温度随土壤加深而降低,这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^[26]。

本研究结果显示细柄阿丁枫细根直径大小与细根寿命呈正相关,这与 Baddeley 和 Watson^[16]、Wells 和 Eissenstat^[9]的研究结果一致。Wells 和 Eissenstat^[9]研究了不同直径等级的苹果树细根寿命,结果显示细根中值寿命随细根直径的增加而延长,0.1—0.2 mm、0.2—0.3 mm 和 0.3—0.5 mm 3 个直径等级细根中值寿命分别为 34、36 d 和 97 d,而 0.5—1.1 mm 的细根中值寿命则大于 211 d。直径影响细根寿命,主要是由于不同直径大小的细根生理活性存在显著差异^[9, 27],直径越小, N 浓度较高^[28],非木质化程度高,呼吸作用越强,细根寿命越小。而米楮却有些不同,细根直径 0.6<d<1 mm 的中值寿命并没有比 0.6<d<1 mm 的大,这主要是由于最大的直径等级样本数太少造成的(米楮 0.6<d<1 mm 细根仅 32 个,占细根总数的 5.6%)。

随着序级的增大,细柄阿丁枫和米楮细根中值寿命极显著增加($P<0.01$),且一级根和高级根的累积存活率均存在显著差异($P<0.05$)。Guo 等^[29]研究结果也显示高级根与低级根相比寿命更长。生长在根系末端的一级根序的细根直径较小^[30],木质化程度较低, N 浓度高和呼吸速率高^[29],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^[29],主要起运输作用,寿命较长^[31]。一级根与高级根相比,前者数量是后者的数倍,甚至是数十倍,其与土壤接触面积巨大,有利于细根在土壤中吸收水分和养分,本研究中发现细柄阿丁枫和米楮一级根/高级根都大于 10。王向荣等^[32]对水曲柳和落叶松的研究表明细根直径随着根序的增大而增加,且各根序平均直径之间存在较大的差异。本研究结果也显示相同的趋势:细柄阿丁枫一级根(平均直径 0.30 mm)平均寿命 267 d,高级根(平均直径 0.39 mm)平均寿命 559 d;米楮一级根(平均直径 0.28 mm)平均寿命 247 d,高级根(平均直径 0.39 mm)平均寿命 425 d。以上说明了细根直径大小和根序不同共同影响了细根寿命。

随着邻近细根数量的增大,细柄阿丁枫和米楮细根的平均寿命皆极显著增加($P<0.01$)。这可能与土壤养分斑块状分布有关,即细根数量多的地方土壤养分含量高,能够更好地维持细根的生长。Burton 等^[33]认为土壤有效 N 的增加,能够为植物生长长时间提供所需养分,只要有足够的 C 投入到具吸收功能的细根中,就可使细根寿命延长。但本研究结果与 Anderson^[27]等的研究结果不一致,其研究发现邻近细根数量增加了细根死亡风险率。这种差异可能是由于所研究的植物种类不同造成的。目前有关邻近细根数量对细根寿命影响的研究还较少,今后还需要对其影响机制进行更深入的研究。

Cox 比例风险回归分析则表明出生年份对二者细根寿命的影响皆无统计学意义($P>0.05$),影响因素按照影响程度大小排列均依次是序级、出生季节、细根直径以及邻近细根数量。土层对细柄阿丁枫细根寿命的影响最弱,对米楮细根寿命的影响无统计学意义($P>0.05$),这说明土层可能主要通过对细根形态特征的影响而间接影响细根寿命。采用相同的分析方法,邱俊等^[6]对樟子松人工林细根寿命的研究显示影响细根寿命的主要因素是菌根侵染、细根直径和土层,根序和出生季节的影响不显著。Guo 等^[15]研究结果显示根序对细根寿命具有最强和最一致的作用,高级根比低一级的细根寿命延长 46%。Baddeley 和 Watson^[16]研究发现,樱桃细根直径每增加 0.1 mm,其死亡率就下降 16%。Anderson 等^[27]对葡萄藤的研究表明土层深度每增加 1 cm,细根死亡率减少 0.3%—0.7%。结合本研究和他人的研究结果发现,细根寿命确实受到内外因素综合影响,而影响细根寿命的主要因素受研究对象、研究地区的不同而不同。

References:

- [1] Norby R J, Jackson R B. Root dynamics and global change: seeking an ecosystem perspective. *New Phytologist*, 2000, 147(1), 3-12.
- [2] Jackson R B, Mooney H A, Schulze E D. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 1997, 94(14): 7362-7366.

- [3] 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.
- [4] Gill R A, Jackson R B. Global patterns of root turnover for terrestrial ecosystems. *New Phytologist*, 2000, 147(1) : 13-31.
- [5] Hendricks J J, Hendrick R L, Wilson C A, Mitchell R J, Pecot S D, Guo D L. Assessing the patterns and controls of fine root dynamics: an empirical test and methodological review. *Journal of Ecology*, 2006, 94(1) : 40-57.
- [6] Qiu J, Gu J C, Jiang H Y, Wang Z Q. Factors influencing fine root longevity of plantation-grown *Pinus sylvestris* var. *mongolica*. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(9) : 1066-1074.
- [7] Black K E, Harbron C G, Franklin M, Atkinson D, Hooker J E. Differences in root longevity of some tree species. *Tree Physiology*, 1998, 18 : 259-264.
- [8] López B, Sabaté S, Gracia C A. Fine-root longevity of *Quercus ilex*. *New Phytologist*, 2001, 151(2) : 437-441.
- [9] Wells C E, Eissenstat D M. Marked differences in survivorship among apple roots of different diameters. *Ecology*, 2001, 82(3) : 882-892.
- [10] 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(4) : 1057-1061.
- [11] King J S, Albaugh T J, Allen H L, Buford M, Strain B R, Dougherty P. Belowground carbon input to soil is controlled by nutrient availability and fine root dynamics in loblolly pine. *New Phytologist*, 2002, 154(2) : 389-398.
- [12] Cox D R. Regression models and life tables. *Journal of the Royal Statistical Society*, 1972, 34 : 187-220.
- [13] 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.
- [14] Yu S Q. Estimation of Fine Root Lifespan for Manchurian Ash and Daurian Larch. Haerbin: Northeast Forestry University, 2006.
- [15] Guo D L, Michell R 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.
- [16] Baddeley J A, Waston 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.
- [17] 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.
- [18] 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*, 2011, 31(4) : 1130-1138.
- [19] 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(1/2) : 129-139.
- [20] 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, Inc, 2002 : 221-238.
- [21] Burton A J, Pregitzer K S, Zogg G P. Latitudinal variation in sugar maple fine root respiration. *Canadian Journal of Forest Research*, 1996, 26(10) : 1761-1768.
- [22] Eissenstat D M, Yanai R D. The ecology of root lifespan. *Advances in Ecological Research*, 1997, 27 : 1-60.
- [23] Mei L, Wang Z Q, Han Y Z, Gu J C, 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.
- [24] Kosola K R, Eissenstat D M, Graham J H. Root demography of mature citrus trees: the influence of *Phytophthora nicotianae*. *Plant and Soil*, 1995, 171(2) : 283-288.
- [25] Hendrick R L, Pregitzer K S. The demography of fine roots in a northern hardwood forest. *Ecology*, 1992, 73(3) : 1094-1104.
- [26] Schoettle A W, Fahey T J. Foliage and fine root longevity of pines. *Ecological Bulletins*, 1994, (43) : 136-153.
- [27] Anderson L J, Comas L H, Lakso A N, Eissenstat D M. Multiple risk factors in root survivorship: a 4-year study in Concord grape. *Phytologist*, 2003, 158(3) : 489-501.
- [28] Gordon W S, Jackson R B. Nutrient concentrations in fine roots. *Ecology*, 2000, 81(1) : 275-280.
- [29] 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.
- [30] 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(3) : 302-308.
- [31] 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.
- [32] Wang X R, Wang Z Q, Han Y Z, Gu J C, Guo D L, Mei L. Variations of fine root diameter with root order in *Manchurian ash* and *Daurian larch* plantations. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(6) : 871-877.
- [33] 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.

参考文献:

- [6] 邱俊, 谷加存, 姜红英, 王政权. 樟子松人工林细根寿命估计及影响因子研究. *植物生态学报*, 2010, 34(9) : 1066-1074.
- [14] 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.
- [18] 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*, 2011, 31(4) : 1130-1138.
- [23] 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.
- [31] 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(5) : 704-710.
- [32] 王向荣, 王政权, 韩有志, 谷加存, 郭大立, 梅莉. 水曲柳和落叶松不同根序之间细根直径的变异研究. *植物生态学报*, 2005, 29(6) : 871-877.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 6 March, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Quantitatively monitoring undergoing degradation of plateau grassland by remote sensing data; a case study in Maqu County, Gansu Province, China	ZHOU Jianhua, WEI Huaidong, CHEN Fang, et al (1663)
Using periphyton assemblages to assess stream conditions of Taizi River Basin, China	YIN Xuwang, QU Xiaodong, LI Qingnan, et al (1677)
Water-holding capacity of an evergreen broadleaf forest in Ailao Mountain and its functions in mitigating the effects of Southwest China drought	QI Jinhua, ZHANG Yongjiang, ZHANG Yiping, et al (1692)
The relationship between protistan community and water quality along the coast of Qingdao	YANG Jinpeng, JIANG Yong, HU Xiaozhong (1703)
Simulation of effects of warming on carbon budget in alpine meadow ecosystem on the Tibetan Plateau	QI Weiwei, NIU Haishan, WANG Shiping, et al (1713)
Features of leaf photosynthesis and leaf nutrient traits in reservoir riparian region of Three Gorges Reservoir, China	JIE Shenglin, FAN Dayong, XIE Zongqiang, et al (1723)
Spatio-temporal distribution of fish in the Pengxi River arm of the Three Gorges reservoir	REN Yuqin, CHEN Daqing, LIU Shaoping, et al (1734)
Analysis on allelochemicals in the cell-free Filtrates of <i>Amphidinium carterae</i>	JI Xiaoqing, HAN Xiaotian, YANG Baijuan, et al (1745)
Effect of starvation on expression patterns of the MYP gene in <i>Strongylocentrotus intermedius</i>	QIN Yanjie, SUN Bolin, LI Xia, et al (1755)
Habitat selection of feral yak in winter and spring in the Helan Mountains, China	ZHAO Chongnan, SU Yun, LIU Zhensheng, et al (1762)
Using cellular automata to study patchy spread in a predator-prey system	YANG Li, LI Weide (1773)
Effects of insect-resistant transgenic <i>Bt</i> rice with a fused <i>Cry1Ab+Cry1Ac</i> gene on population dynamics of the stem borers, <i>Chilo suppressalis</i> and <i>Sesamia inferens</i> , occurring in paddyfield	LI Zhiyi, SUI He, XU Yanbo, et al (1783)
Effect of spectral sensitivity and intensity response on the phototaxis of <i>Frankliniella Occidentalis</i> (Pergande)	FAN Fan, REN Hongmin, LU Lihua, et al (1790)
The synergistic action and UV protection of optical brightener on three different geographic isolates of Asian Gypsy Moth Nucleopolyhedrovirus (LdMNPV)	WANG Shujuan, DUAN Liqing, LI Haiping, et al (1796)
The availability of trace elements in an oasis soil under different utilization intensity in an arid area in China	LI Haifeng, ZENG Fanjiang, GUI Dongwei, et al (1803)
Multivariate regression analysis of greenhouse gas emissions associated with activities and populations of soil microbes in a double-rice paddy soil	QIN Xiaobo, LI Yu'e, SHI Shengwei, et al (1811)
Distribution characteristics of humus fraction in soil profile for the typical regions in the Loess Plateau	DANG Ya'ai, LI Shiqing, WANG Guodong (1820)
N ₂ O emissions from vegetable farmland with purple soil and the main factors influencing these emissions	YU Yajun, WANG Xiaoguo, ZHU Bo (1830)
Relationships between carbon source utilization of soil microbial communities and environmental factors in natural secondary forest in subtropical area, China	WANG Yun, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (1839)
Numerical soil classification using fuzzy K-means algorithm and predictive soil mapping at regional scale	LIU Pengfei, SONG Xuan, LIU Xiaobing, et al (1846)
Releasing characteristics of nonpoint source pollutants from straws under submerging condition	YANG Zhimin, CHEN Yucheng, ZHANG Yun, et al (1854)
Effects of delayed irrigation at jointing stage on nitrogen accumulation and its allocation, and NO ₃ -N migration in wheat	WANG Hongguang, YU Zhenwen, ZHANG Yongli, et al (1861)
Risk division on winter wheat suffering from spring wet damages in Jiangsu Province	WU Hongyan, GAO Ping, XU Weigen, et al (1871)
Determination of the initial depth of water uptake by roots of steppe plants in restored and overgrazed communities, Inner Mongolia, China	GUO Yuran, WANG Wei, LIANG Cunzhu, et al (1880)
Fine root architecture and morphology among different branch orders of six subtropical tree species	XIONG Decheng, HUANG Jinxue, YANG Zhijie, et al (1888)
Numerical analysis of inter-specific relationships in Alpine steppe community in Bayanbulak	FANG Fei, HU Yukun, ZHANG Wei, et al (1898)
Analysis of shade-tolerance and determination of evaluation indicators of shade-tolerance in seedlings of <i>Chrysanthemum grandiflorum</i> and its closely related genera	SUN Yan, GAO Haishun, GUAN Zhiyong, et al (1908)
Effect of the parasitic <i>Cuscuta australis</i> on the community diversity and the growth of <i>Alternanthera philoxeroides</i>	WANG Rukui, GUAN Ming, LI Yonghui, et al (1917)
Diversity and community structure of basidiomycete laccase gene from subtropical broad-leaved and coniferous forest ecosystems based on cDNA cloning	CHEN Xiangbi, SU Yirong, HE Xunyang, et al (1924)
Fine root longevity and controlling factors in subtropical <i>Alingia grilipes</i> and <i>Castanopsis carlesii</i> forests	HUANG Jinxue, LING Hua, YANG Zhijie, et al (1932)
Linear programming and optimal distribution of the forest resources based on TM remote sensing images	DONG Bin, CHEN Liping, WANG Ping, et al (1943)
Urban green space landscape patterns and thermal environment investigations based on computational fluid dynamics	LIU Yanhong, GUO Jinping, WEI Qingshun (1951)
Review and Monograph	
Review of the ecological compensation efficiency	ZHAO Xueyan (1960)
Scientific Note	
The effects of petroleum exploitation on water quality bio-assessment and benthic macro-invertebrate communities in the Yellow River Delta wetland, Dongying	CHEN Kai, XIAO Nengwen, WANG Beixin, et al (1970)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,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,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 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 6 期 (2012 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 6 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:100071	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@csbg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@csbg.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