

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

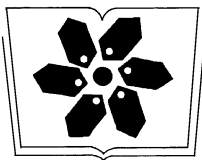
Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 14 期 Vol.32 No.14 **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 14 期

2012 年 7 月 (半月刊)

目 次

海滨沙地砂引草对沙埋的生长和生理适应对策.....	王 进,周瑞莲,赵哈林,等 (4291)
外源 K ⁺ 和水杨酸在缓解融雪剂对油松幼苗生长抑制中的效应与机理 ...	张 莹,李法云,严 霞,等 (4300)
钱塘江中游流域不同空间尺度环境因子对底栖动物群落的影响.....	张 勇,刘朔孺,于海燕,等 (4309)
贡嘎山东坡非飞行小型兽类物种多样性的垂直分布格局.....	吴永杰,杨奇森,夏 霖,等 (4318)
基于斑块的红树林空间演变机理分析方法.....	李春干,刘素青,范航清,等 (4329)
亚热带六种天然林树种细根养分异质性.....	熊德成,黄锦学,杨智杰,等 (4343)
浙江省植被 NDVI 动态及其对气候的响应	何 月,樊高峰,张小伟,等 (4352)
亚热带 6 种天然林树种细根呼吸异质性.....	郑金兴,熊德成,黄锦学,等 (4363)
亚高山/高山森林土壤有机层氨氧化细菌和氨氧化古菌丰度特征	王 奥,吴福忠,何振华,等 (4371)
耕作方式对紫色水稻土轻组有机碳的影响.....	张军科,江长胜,郝庆菊,等 (4379)
火烧对长期封育草地土壤碳固持效应的影响.....	何念鹏,韩兴国,于贵瑞,等 (4388)
闽江河口潮汐湿地二氧化碳和甲烷排放化学计量比.....	王维奇,曾从盛,仝 川,等 (4396)
2010 年夏季珠江口海域颗粒有机碳的分布特征及其来源	刘庆霞,黄小平,张 霞,等 (4403)
新疆冷泉沉积物葡萄糖利用细菌群落多样性的稳定同位素标记分析.....	楚 敏,王 芸,曾 军,等 (4413)
土壤微生物群落多样性解析法:从培养到非培养.....	刘国华,叶正芳,吴为中 (4421)
伊洛河河岸带生态系统草本植物功能群划分	郭屹立,卢训令,丁圣彦 (4434)
濒危植物蒙古扁桃不同地理种群遗传多样性的 ISSR 分析	张 杰,王 佳,李浩宇,等 (4443)
强潮区较高纬度移植红树植物秋茄的生理生态特性.....	郑春芳,仇建标,刘伟成,等 (4453)
冬季高温对白三叶越冬和适应春季“倒春寒”的影响	周瑞莲,赵 梅,王 进,等 (4462)
中亚热带细柄阿丁枫和米槠群落细根的生产和死亡动态.....	黄锦学,凌 华,杨智杰,等 (4472)
欧美杨水分利用效率相关基因 <i>PdEPF1</i> 的克隆及表达	郭 鹏,金 华,尹伟伦,等 (4481)
再力花地下部水浸提液对几种水生植物幼苗的化感作用.....	缪丽华,王 媛,高 岩,等 (4488)
无致病力青枯雷尔氏菌对烟草根系土壤微生物脂肪酸生态学特性的影响.....	郑雪芳,刘 波,蓝江林,等 (4496)
基于更新和同化策略相结合的遥感信息与水稻生长模型耦合技术的研究.....	王 航,朱 艳,马孟莉,等 (4505)
温度和体重对克氏双锯鱼仔鱼代谢率的影响.....	叶 乐,杨圣云,刘 敏,等 (4516)
夏季西南印度洋叶绿素 a 分布特征.....	洪丽莎,王春生,周亚东,等 (4525)
大沽排污河生态修复河道水质综合评价及生物毒性影响.....	王 敏,唐景春,朱文英,等 (4535)
李肖叶甲成虫数量及三维空间格局动态.....	汪文俊,林雪飞,邹运鼎,等 (4544)
专论与综述	
基于景观格局的城市热岛研究进展	陈爱莲,孙然好,陈利顶 (4553)
沉积物质量评价“三元法”及其在近海中的应用	吴 斌,宋金明,李学刚,等 (4566)
问题讨论	
中国餐厨垃圾处理的现状、问题和对策	胡新军,张 敏,余俊锋,等 (4575)
研究简报	
稻秸蓝藻混合厌氧发酵沼液及其化学物质对尖孢镰刀菌西瓜专化型生长的影响.....	刘爱民,徐双锁,蔡 欣,等 (4585)
佛山市农田生态系统的生态损益.....	叶延琼,章家恩,秦 钟,等 (4593)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 314 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 33 * 2012-07



封面图说: 噶龙山南坡的高山湖泊——喜马拉雅山南坡的噶龙山光照强烈、雨量充沛,尽管是海拔 4500 多米的高寒地区,山上的草甸依然泛着诱人的翠绿色,冰川和雪山的融水汇集在山梁的低洼处形成了一个又一个的高山湖泊,由于基底的差别和水深的不同,使得纯净清澈的冰雪融水在湖里呈现出不同的颜色,湖面或兰或绿,颜色或深或浅,犹如一块块通透透明的翡翠镶嵌在绿色的绒布之中。兰天下面,白云落在山间,通往墨脱的公路像丝带一样随随便便地缠绕着,一幅美丽的自然生态画卷就这样呈现在你的面前。

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

DOI: 10.5846/stxb201106280967

黄锦学, 凌华, 杨智杰, 卢正立, 熊德成, 陈光水, 杨玉盛, 谢锦升. 中亚热带细柄阿丁枫和米槠群落细根的生产和死亡动态. 生态学报, 2012, 32(14): 4472-4480.

Huang J X, Ling H, Yang Z J, Lu Z L, Xiong D C, Chen G S, Yang Y S, Xie J S. Estimating fine root production and mortality in subtropical *Altingia grilipes* and *Castanopsis carlesii* forests. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(14): 4472-4480.

中亚热带细柄阿丁枫和米槠群落细根的生产和死亡动态

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}, 谢锦升^{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: 采用微根管技术与挖掘法相结合的方式对福建省万木林自然保护区细柄阿丁枫和米槠天然林细根生产和死亡动态进行了为期两年多的观测, 分析细根生产和死亡的季节变化、垂直分布及径级和序级分配, 并估计细根的年生产量和年死亡量。结果表明: 细柄阿丁枫细根年生产量和年死亡量分别为 $(230.1 \pm 162.8) \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 $(188.8 \pm 75.5) \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 均略大于米槠的 $(214.5 \pm 185.8) \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 $(178.8 \pm 26.5) \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 但两种森林群落的细根年生产量和年死亡量均无显著差异 ($P > 0.05$)。两森林群落细根生产均在春季达到高峰, 其中米槠细根生产与月降水量呈极显著相关 ($P < 0.01$, $r = 0.566$); 细根死亡则呈现季节性波动, 米槠细根死亡峰值主要发生于夏季和秋季, 而细柄阿丁枫则出现在秋季。两森林群落细根生产和死亡皆主要集中于土壤表层 0—40 cm 中, 而且不同径级细根生产和死亡集中于 0—1 mm 细根中, 其中 0.3—0.6 mm 细根的生产 and 死亡在两森林群落中均最大。两森林群落一级根的生产 and 死亡均大于高级根。

关键词: 常绿阔叶林; 细根; 生产; 死亡; 微根管

Estimating fine root production and mortality in subtropical *Altingia grilipes* 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}, XIE Jinsheng^{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: The turnover of fine root, the most dynamic component of root system, play an important role in nutrient cycle and energy flow in forest ecosystems. Fine root production and mortality in two subtropical evergreen broadleaved forests, *Altingia grilipes* forest and *Castanopsis carlesii* forest, in Wanmulin Natural Reserve, Jian-ou, Fujian province, were monitored for more than two consecutive years by using both minirhizotrons and the exvacation methods. The objectives of this research were to: (1) analyze the seasonal patterns of fine root production and mortality; (2) to examine the allocation of both root production and mortality among different soil depths, root diameter classes and orders. In order to extract biomass data of individual root from root image, the relationships between root biomass (M) and root diameter (D) and root length (L) were established: $M = 0.4671 D^2 L$ for *Altingia grilipes*, and $M = 0.5869 D^2 L$ for *Castanopsis carlesii*, respectively. Though there were no significant differences ($P > 0.05$), annual fine root production and mortality in *Altingia*

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); 福建省自然科学基金项目 (2009J01122)

收稿日期: 2011-06-28; **修订日期:** 2011-10-31

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

grlilipes ($(230.1 \pm 162.8) \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ and $(188.8 \pm 75.5) \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, respectively) were slightly higher than those in *Castanopsis carlesii* ($(214.5 \pm 185.8) \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ and $(178.8 \pm 26.5) \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, respectively). Fine root production reached a peak in the spring, and showed a normal distribution in 2009 in both two communities. There was a significant correlation between fine root production and monthly precipitation ($P < 0.01$, $r = 0.566$) in *Castanopsis carlesii*. Fine root mortality fluctuated seasonally in these two forests. The peak of fine root mortality occurred mainly in summer and autumn in *Castanopsis carlesii* and in fall in *Altingia grlilipes*. The fine root production of these two forest communities appeared mainly in the top soil layer (0—40 cm), accounting for 88.6% and 95.1% of the total production in *Altingia grlilipes* and *Castanopsis carlesii*, respectively. Fine root mortality had the same distribution pattern, and made up to 89.7% and 99.2% of total mortality, respectively, in the 0—40 cm layer. In addition, the maximum of fine root production (*Altingia grlilipes*: $(131.7 \pm 91.4) \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$; *Castanopsis carlesii*: $(108.6 \pm 100.4) \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) and mortality (*Altingia grlilipes*: $(106.4 \pm 69.5) \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$; *Castanopsis carlesii*: $(99.7 \pm 2.4) \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) of these two forest communities appeared in the 2040 cm soil layer. With the root diameter increases, the number of root growth and death decreased, while fine root production and mortality had no corresponding tendency with diameter. Root production occurred mainly in 0—1mm, which accounts for 90.4% of total production in *Altingia grlilipes* and 96.1% in *Castanopsis carlesii*. Furthermore, fine root production in 0.3—0.6 mm was $(100.0 \pm 44.0) \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ in *Altingia grlilipes* and $(94.8 \pm 90.4) \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ in *Castanopsis carlesii*, which was the highest among different root diameter classes. Fine root mortality had the same trend with production, which accounted for 95.5% and 100% of the total fine root mortality in 0—1mm in *Altingia grlilipes* and *Castanopsis carlesii*, respectively. Root production and mortality of the first root order were much higher than those of the higher order in both two forest communities.

Key Words: evergreen broadleaf forest; fine root; production; mortality; minirhizotron

在森林生态系统中,细根(<2 mm)虽然只占根系总生物量的3%—30%^[1],但其每年向地下输入的有机物占总输入的50%左右^[2]。作为植物根系动态组成部分,细根生产和周转构成了生态系统物质循环和能量流动的主体^[3]。细根的主要生理功能是吸收养分和水分,消耗光合产物^[4],最基本的动态特征的生产和死亡^[5]。因此,研究细根动态格局对认识生态系统的结构和功能至关重要^[6]。

细根动态受非生物因素(水分^[7]、温度^[8]、土壤资源有效性^[9])和生物因素(植物本身特性^[4]和土壤生物^[4])的影响。细根生产的季节格局一般表现为春季或夏季最高(达到峰值),这在北方林^[10]、温带针叶林^[11]以及冷温带林^[12]中皆被观测到。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,而目前中亚热带常绿阔叶林的细根生产和死亡季节格局并不清楚。同时,细根生产和死亡是一个同步过程^[13],一年四季都在发生,这表明采用传统的破坏性取样方法如连续土芯法,并不能观测细根生产和死亡,且低估细根死亡。而采用微根管法,能在不干扰细根生长过程的前提下,记录细根生产和死亡。但此方法采用二维影像,很难得到细根现存量 and 生产力。通过两种方法相结合则可提高细根生物量估计精度。本研究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—2010年细根的生产和死亡动态,同时使用挖掘法建立细根干重与根长和直径的换算关系,以估测细根年生产量和死亡量。本研究的目的:(1)分析两森林群落细根生产和死亡动态;(2)分析两森林群落细根生产和死亡垂直分布;(3)估计不同径级和序级细根的生产和死亡。

1 研究地点与方法

1.1 研究地点

研究地点位于福建省建瓯市万木林自然保护区($27^{\circ}02'28''$ — $27^{\circ}03'32''\text{N}$, $118^{\circ}08'22''$ — $118^{\circ}09'23''\text{E}$),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,地带性土壤为红壤。研究群落为细柄阿丁枫(*Altingia grlilipes*)群落

和米楮(*Castanopsis carlesii*) 群落,其中细柄阿丁枫群落坡向北偏东 15°,坡度 27°,海拔 390 m,树龄 125a,平均树高 28 m,平均胸径 45.2 cm,群落沿山脊向下延伸,季相变化不明显;米楮群落坡向北偏西 85°,平均坡度 15°,海拔 510 m,树龄 155a,平均树高 23 m,胸径 29.4 cm。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置和微根管安装

2007 年 5 月,在两群落内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,两个群落共安装 40 个管。微根管内径为 5 cm,长度为 90 cm,微根管的安装与地面成 45°角,垂直深度 50—55 cm 左右。外露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,然后用浅色胶布覆盖。从 2007 年 10 月开始图像拍摄,每月 1 次。本研究所采用的数据期间为 2008 年 1 月至 2010 年 3 月。

1.2.2 根系影像采集和数据处理

每月下旬采用微根管袖珍影像成像系统(美国 Bartz 技术公司生产)进行影像收集,观测窗面积为 1.4 cm×1.8 cm,每管收集图片 40—45 张左右。每次取样后用根系分析系统 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、细根出生土层和出生时间等),根据森林群落、微根管号、取样时间、细根编号等建立细根数据库,以便于数据分析。将观测到细根直径划分为 4 个等级,即≤0.3 mm、0.3—0.6 mm、0.6—1 mm 和 1—2 mm。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^[14]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细根定义为一级根,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。

1.2.3 细根生物量转换

在细柄阿丁枫群落和米楮群落内,分别在上坡、中坡和下坡对细根进行分层取样(0—20 cm,20—40 cm,40—60 cm),将其中小于 2 mm 的细柄阿丁枫和米楮细根分别按照 0—0.3 mm,0.3—0.6 mm,0.6—1 mm,1—2 mm 进行分级,并把分好级的细根用数字化扫描仪 Espo scanner 进行扫描,用 Win RHIZO(Pro 2005b)根系图像分析系统软件对扫描后的细根图像进行细根形态指标的定量分析,测定完成后将根系样品放入 65 °C 的烘箱内,烘干至恒重(48 h)后用电子天平(±0.0001 g)称量。

将两群落由挖掘法获取的细根形态和干重数据分别建立细根干重(M ,g)与细根直径(D ,cm)和根长(L ,cm)的关系(式(1))。利用微根管法所获取的各个体根的直径和根长数据,通过该公式计算各个体根的干重:

$$M = aD^2L \quad (1)$$

式中, M :细根干重; D :细根直径; L :细根长度; a 待定参数。

单位根窗面积的细根生产量或死亡量则通过式(2)转换成单位林地面积的细根生产量或死亡量(RP ,g/m²):

$$RP = M \times 100000 / (A \times DOF) \quad (2)$$

式中, A (cm²)为观测窗面积; DOF (cm)为田间深度,它假设二维微根管观测到的根系图片代表管周围扫描区域的一定厚度,用微根管观测到的是此土壤厚度内的全部根系^[15],其取值一般在 0.2—0.3 cm,本研究中 DOF 取中间值 0.25 cm。

1.3 数据分析

使用统计软件 SPSS13.0,利用协方差分析土层对细根干重以及根径平方与根长乘积的影响,采用相关分析细根生产与死亡与环境因子之间的相关关系;使用 Microsoft excel 制图。

2 结果和分析

2.1 生物量转换

本研究使用挖掘法获得细根干重与直径、根长的关系式,建立以细根干重(M)为因变量,根径平方与根长的乘积(D^2L)为自变量的关系式。细柄阿丁枫群落: $M=0.4671 D^2L$;米楮群落: $M=0.5869 D^2L$ (图 1)。利用这两个关系式将微根管法获得的各个体细根的直径和根长转换为细根干重。协方差分析表明,土层对两种群落的 M 与 D^2L 的关系均无显著影响($P>0.05$),故该关系式不按土层分别建立。

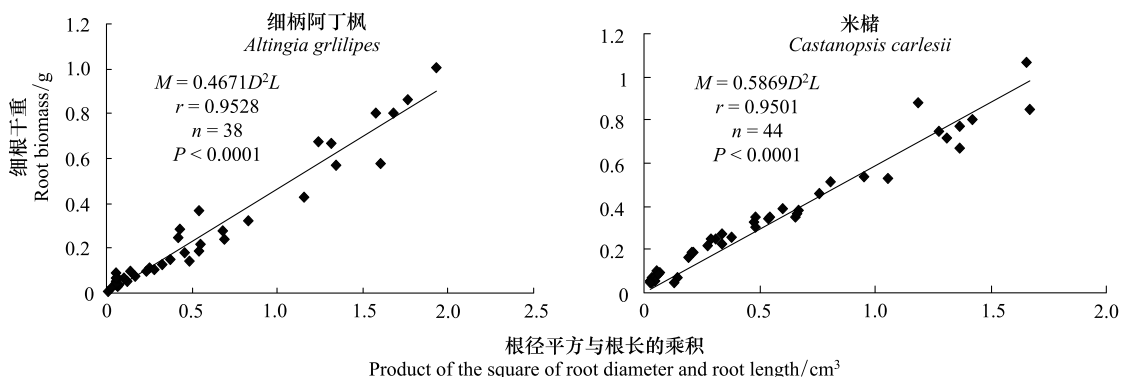


图 1 细柄阿丁枫和米楮群落细根干重与根径平方与根长乘积的回归关系图

Fig. 1 The relationship between root biomass and product of the square of root diameter and root length in *Altingia grilipes* and *Castanopsis carlesii*

2.2 两森林群落群落细根生产、死亡动态

微根管从 2007 年 10 月开始连续性观测取样,由于微根管安装刺激细根生产,故在观测初期(2007 年 10 月—2008 年 3 月)细根生产并不稳定,特别是在细柄阿丁枫群落(图 2)。因此本研究分析 2008 年 4 月—2010 年 3 月之间的细根生产与死亡。

细柄阿丁枫群落细根年生产量和年死亡量分别为(230.1 ± 162.8) $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 (188.8 ± 75.5) $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 均略大于米楮的(214.5 ± 185.8) $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 (178.8 ± 26.5) $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 但两种森林群落的细根年生产量和年死亡量均无显著差异($P>0.05$)。细柄阿丁枫和米楮群落细根生产均表现为春季达到高峰,且在 2009 年两森林群落细根生产呈正态分布。除此之外,2009 年 10 月到次年 3 月观测结束,细根生产均较少。同时,米楮细根生产在 2009 年 3 月达到峰值,同期降水量亦达到了峰值。由表 1 可知,米楮细根生产与月降水量呈极显著相关($P<0.01, r=0.566$)。两森林群落细根的死亡从总体上看,呈现季节性波动。两年观测期内,米楮细根死亡峰值分别发生于秋季(2008 年 9 月)和夏季(2008 年 7 月);而细柄阿丁枫细根死亡在 2009 年 9 月出现峰值。

表 1 细柄阿丁枫和米楮群落细根生产与死亡与环境因子的相关关系

	生产 Production		死亡 Mortality	
	细柄阿丁枫 <i>Altingia grilipes</i>	米楮 <i>Castanopsis carlesii</i>	细柄阿丁枫 <i>Altingia grilipes</i>	米楮 <i>Castanopsis carlesii</i>
月均气温 Temperature	0.100	-0.013	0.362	0.264
月降水量 Percipitation	0.313	0.566 **	0.376	-0.135

** 表示相关性达到极显著水平($P<0.01$)

2.3 细根生产和死亡的垂直分布

细柄阿丁枫和米楮细根生产主要集中于土壤表层 0—40 cm, 分别占总生产量的 88.6% 和 95.1%; 细根死亡也具类似的分布, 两森林群落在土壤表层 0—40 cm 的细根死亡分别占总死亡量的 89.7% 和 99.2%; 与此同时, 两森林群落细根生产(细柄阿丁枫: (131.7 ± 91.4) $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$; 米楮: (108.6 ± 100.4) $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) 和死亡(细柄阿丁枫: (106.4 ± 69.5) $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$; 米楮: (99.7 ± 2.4) $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) 最大值皆出现在土层 20—40 cm 中(图

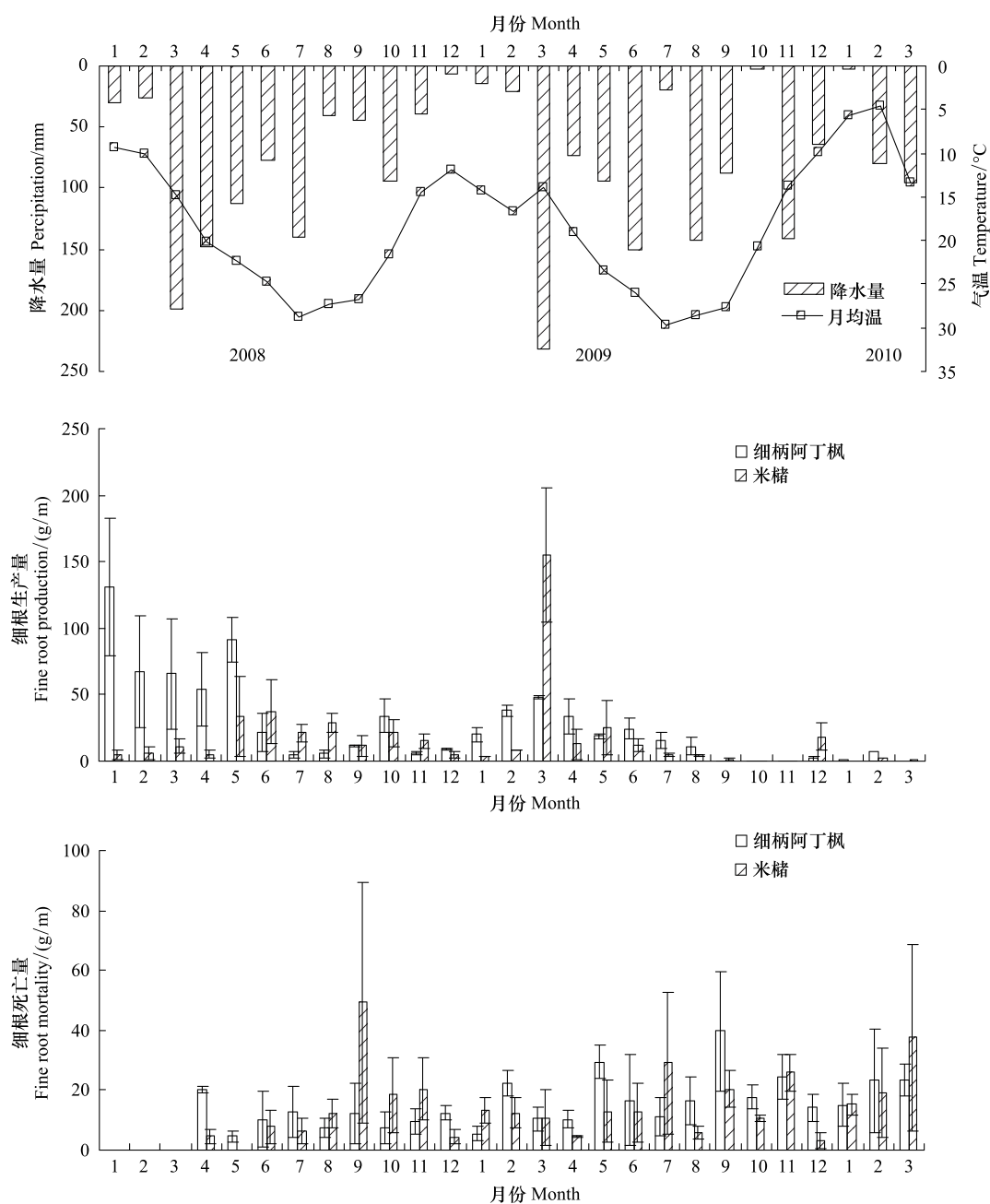


图2 试验地月均气温和降水量与细柄阿丁枫和米槠群落细根生产死亡月动态

Fig. 2 Mean monthly air temperature and precipitation and dynamics of fine root production and mortality in *Altingia grilipes* and *Castanopsis carlesii*

3); 两森林群落细根生产和死亡最小值均在土层 40—60 cm 中。

2.4 径级和序级

从细根数量来看, 两森林群落细根不同径级细根生产和死亡数量皆随着径级的增大而减小(图 5), 但两森林群落不同径级的细根生产并未随径级的增大而呈现相应的增大或减小。其中细柄阿丁枫 0—1 mm 细根占总生产量的 90.4%, 而米槠的则高达 96.1%; 且二者均表现为 0.3—0.6 mm 细根的生产最大, 分别为 $(100.0 \pm 44.0) \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ (图 4) 和 $(94.8 \pm 90.4) \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ (图 4)。细根死亡亦表现出相似的趋势, 细柄阿丁枫和米槠 0—1 mm 细根占总死亡量的 95.5% 和 100%。就序级而言, 细柄阿丁枫和米槠细根生产和死亡一级根均较高级根大(图 6)。

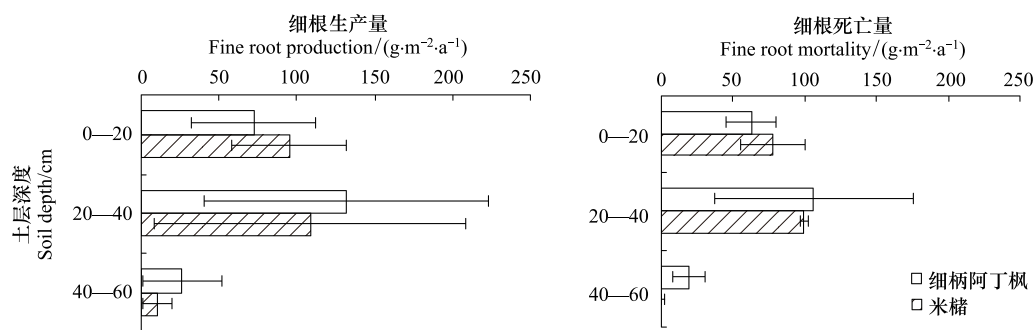


图3 两森林群落细根生产和死亡的垂直分布

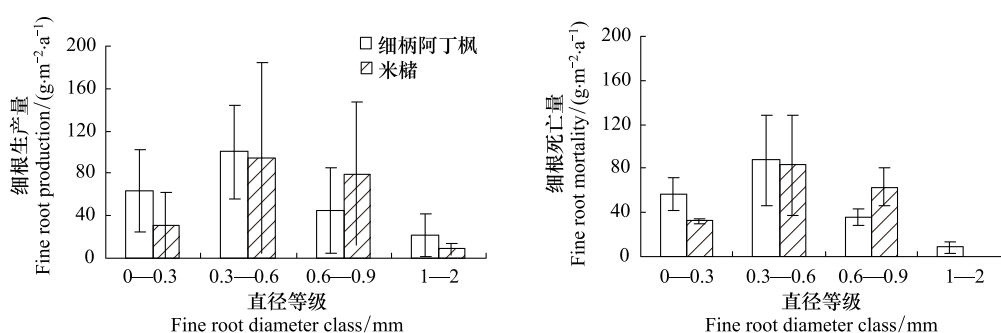
Fig. 3 Vertical distribution of fine root production and mortality in *Altingia grilipes* and *Castanopsis carlesii*

图4 两森林群落不同径级细根生产和死亡

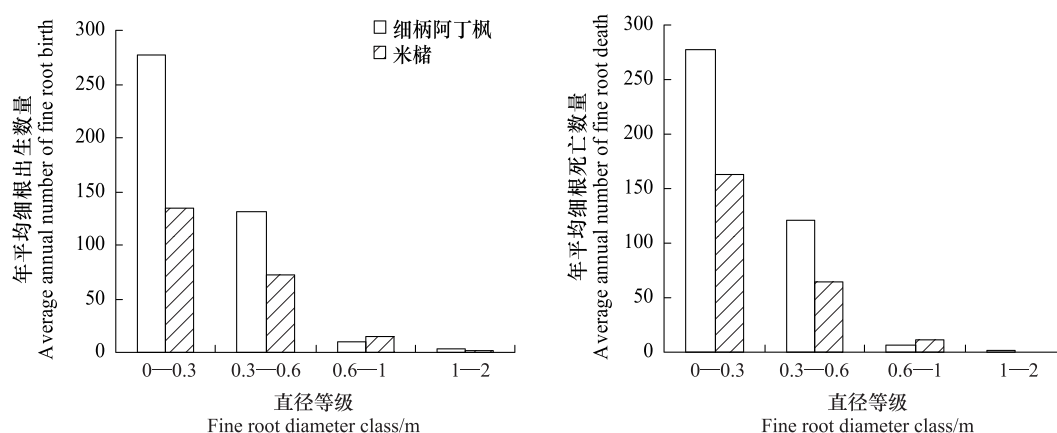
Fig. 4 Production and mortality for different root diameter classes in *Altingia grilipes* and *Castanopsis carlesii*

图5 两森林群落不同径级细根出生数量和死亡数量

Fig. 5 The number of birth and death for different root diameter classes in *Altingia grilipes* and *Castanopsis carlesii*

3 结论和讨论

目前利用微根管计算细根生产和死亡所采用的方法主要有:以根长为基础或以数量为基础。如史建伟等^[16]和王孟本等^[17]均以根长为基础计算细根年生产量,其中史建伟等^[18]将得到的单位面积根长密度通过同期土钻法获得的比根长(直径<1 mm)实现生物量转换。除此之外,一些研究也使用细根数量来估计细根生产和死亡^[19]。由于细根生物量取决于根长、直径和组织密度,不考虑细根的属性或仅考虑1个属性(如根长),将导致细根生产量、死亡量的估计误差。本研究中同时考虑了细根的根长和直径,可以提高细根年生产量和死亡量的估计精度。当然,由于无法同时考虑细根的组织密度,估算结果仍可能存在一定误差。

研究结果显示中亚热带(27.04°—27.06° N)常绿阔叶林细柄阿丁枫细根年净生产量为(230.1±162.8)

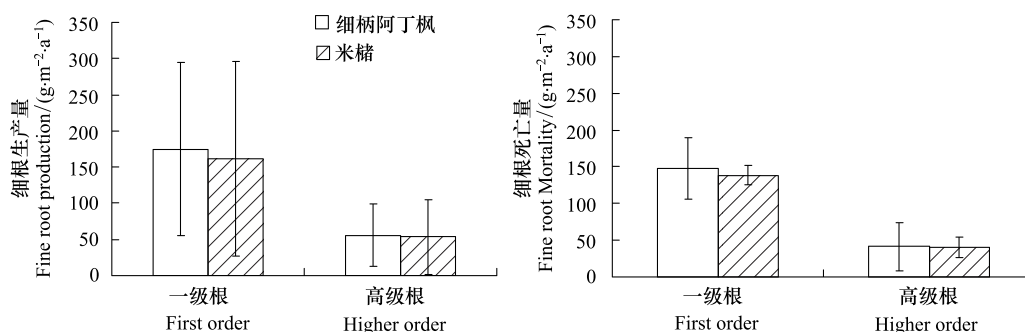


图6 两森林群落不同序级细根生产和死亡

Fig. 6 Production and mortality of fine roots with different orders in *Altingia grilipes* and *Castanopsis carlesii*

$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 略大于米楮的 (214.5 ± 185.8) $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。两森林群落均明显大于日本关东平原东北部 (36.06°N) 日本雪松的 ($120 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)^[20]。而与加拿大 (53.63° — 53.99°N) 黑云杉^[11] 和白杨^[11] 林相比,二者均明显大于白杨 ($57 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$), 略小于黑云杉 ($235 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)。

观测初期 (2008 年 1 月至 3 月) 细柄阿丁枫细根生产量较高 (图 2) 可能是由于微根管的安装对根系的生产具有一定的刺激影响, 细根增生, 使得细根生产量较大^[21]。而米楮并未出现类似情形, 这可能还是由于两森林群落本身的差异造成的, 即两森林群落细根抗干扰能力, 与细柄阿丁枫相比, 米楮抗干扰能力更强。

由于受气候因子的控制, 细柄阿丁枫细根生产春季较高, 米楮细根生产也有相似趋势, 这与 Hendrick 等^[10] 的研究相似, 其研究表明北方林生态系统中细根生产量通常在晚春达到峰值。Steele 等^[11] 研究发现温带针叶林细根生长峰值出现在春季或夏季, 温带森林年地下生产过程亦具有明显的季节性^[22]。本研究中降水量极显著地影响了米楮的生产 ($P<0.01$) (表 1)。在热带和温带的许多研究表明, 细根生产的季节动态与土壤水分动态一致, 生物量或生产高峰出现在雨季而低峰出现在旱季^[23]。由于水分的多少可以影响根系对水分和矿质元素的吸收以及呼吸速率等生理过程, 从而影响根系的生长发育^[24]。但也有研究表明影响生产最重要的环境因子是温度^[8], 随着温度的升高, 细根的生产呈指数增加, 且大气温度对细根生产的影响程度高于土壤温度。产生这些差异的原因一方面主要与树种差异有关, 不同的树种对环境因子变化的敏感度不同, 如本研究中米楮与细柄阿丁枫相比, 其对降水更为敏感。另一方面, 可能跟研究所在地有关, 细柄阿丁枫地处阴坡, 土壤含水量经常保持在较高水平且季节变化较小, 因而水分对细根生产的影响较小; 而米楮位于上坡位, 土壤含水量较低且变化较大而成为细根生产的限制因子。由图 2 亦可反应出: 米楮细根生产在 2009 年 3 月达到峰值, 同期降水量亦达到峰值。另外, 两种群落 2009 年 10 月到 2010 年 3 月细根生产均较少, 这可能与大气温度 (2010 年 2 月) 和降水量 (2009 年 10 月, 2010 年 1 月以及 3 月) 较常年低有关。Yang 等^[25] 通过对细柄阿丁枫和米楮凋落物 3 年的研究结果显示, 两森林群落凋落物均呈现单峰的分布格局, 每年 3 月或 4 月出现 1 次峰值, 且凋落叶显示了与凋落物相似的季节格局。同时, 两森林群落细根生产在春季较高, 这时凋落物也高, 说明植物体可能通过叶凋落前的养分和碳水化合物回收用于供应地下细根的生产^[26]。

细柄阿丁枫细根死亡峰值出现在夏末, 米楮细根死亡峰值则分别出现在夏季和秋季。这与 Steele 等^[11] 研究一致, 其研究结果表明细根死亡在冬季最低, 夏季或秋季最高。细根死亡主要取决于树种和当地气候条件。细根的死亡是一个复杂的生理生态过程^[4]; 春季细根的死亡可能与储存的光合产物消耗有关^[27]; 夏季土壤资源 (如温度、水分) 最适宜细根生理活动, 但光合产物分配格局发生改变 (主要分配到枝条和树干中)^[28], 此时细根死亡量较大, 主要是地上和地下部分竞争碳源的结果^[29]。秋季细根大量死亡则与落叶和温度降低密切相关^[28]。Hendrick 和 Pregitzer^[9] 研究表明, 夏末之后细根开始减少与分配给细根的碳水化合物减少、以及叶子的衰老和凋落紧密联系^[4]。细柄阿丁枫细根年归还量为 $188.8 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$, 占其凋落物年归还量 ($634.5 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)^[25] 的 29.75%, 米楮细根年归还量则为 $178.7 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$, 占其凋落物年归还量 ($581.0 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)^[25]

的 30.76%。研究表明凋落物在养分归还方面具有十分重要的作用^[30]。两森林群落细根占总凋落物归还量的 30% 左右,这说明细根对中亚热带常绿阔叶林中向土壤归还碳、养分和能量上的贡献是不容忽视的。

两森林群落细根不同径级细根生产和死亡数量皆随着径级的增大而减小,但其生产量和死亡量并未呈现相应的增大或减小。这再次说明了仅考虑细根的数量而不考虑细根属性(根长、直径和组织密度)将引起细根生产和死亡估计的偏差。细柄阿丁枫和米槠 0.3—0.6 mm 细根生产最大,这与 Tierney 与 Fahey^[31]对温带阔叶林细根的研究结果相似,其结果亦是 0.3—0.6 mm 的细根生产最大。

研究结果显示细柄阿丁枫和米槠细根生产和死亡最大值发生在 20—40 cm 土层内。这与史建伟等^[16]以及 Fukuzawa 等^[32]的结果均不同。史建伟等^[16]的研究结果表明落叶松和水曲柳细根表层年生产量和年死亡量均最高,底层最低。Fukuzawa 等^[32]的研究亦表明细根生产、死亡以及周转率在表层土壤(0—15 cm)最高,且随着土层增加而降低。这可能与本研究两种森林群落表层细根生产易受土壤水分限制有关。

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] Wei X, Zhang G Z. Progress and prospect in the main research realms of tree fine roots. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2008, 24(5): 143-147.
- [4] Eissenstat D M, Yanai R D. The ecology of root lifespan. *Advances in Ecological Research*, 1997, 27: 1-60.
- [5] Eissenstat D M, Yanai R D. Root lifespan, efficiency, and turnover//Waisel Y, Eshel A, Kafkafi U, eds. *Plant Roots: The Hidden Half*. 3rd ed. New York: Marcel Dekker, 2002: 221-238.
- [6] Green J J, Dawson L A, Proctor J, Duff E I, Elston D A. Fine root dynamics in a tropical rain forest is influenced by rainfall. *Plant and Soil*, 2005, 276(1/2): 23-32.
- [7] Shan J P, Tao D L. Overseas researches on tree fine root. *Chinese Journal of Ecology*, 1992, 11(4): 46-49.
- [8] Jang H Y, Gu J C, Qiu J, Wang Z Q. Seasonal variations of fine root production and mortality in *Larix gmelinii* Plantation in 2004—2008. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(10): 2465-2471.
- [9] Hendricks R L, Pregitzer K S. The dynamics of fine root length, biomass, and nitrogen content in two northern hardwood ecosystems. *Canadian Journal for Research*, 1993, 23(12): 2507-2520.
- [10] Hendrick R L, Pregitzer K S. Patterns of fine root mortality in two sugar maple forests. *Nature*, 1993, 361(6407): 59-61.
- [11] 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.
- [12] Tierney G L, Fahey T J, Groffman P M, Hardy J P, Fitzhugh R D, Driscoll C T, Yavitt J B. Environmental control of fine root dynamics in a northern hardwood forest. *Global Change Biology*, 2003, 9(5): 670-679.
- [13] Pritchard S G, Strand A E, McCormack M L, Davis M A, Finzi A C, Jackson R B, Matamala R, Rogers H H, Oren R. Fine root dynamics in a loblolly pine forest are influenced by free-air-CO₂ enrichment: a six-year-minirhizotron study. *Global Change Biology*, 2008, 14(3): 588-602.
- [14] 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.
- [15] Li J Y, Wang M B, Shi J W. Minirhizotron technique in measuring fine root indices: a review. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(11): 1842-1848.
- [16] Shi J W, Wang Z Q, Yu S Q, Quan X K, Sun Y, Jia S X, Mei L. Estimating fine root production, mortality and turnover with minirhizotrons in *Larix gmelinii* and *Fraxinus mandshurica* plantations. *Journal of Plant Ecology*, 2007, 31(2): 333-342.
- [17] Wang M B, Chen J W, Shi J W, Xun J J, Li J Y. The seasonal change patterns of production and mortality of fine roots in young *Caragana korshinskii* plantation. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(19): 5121-5131.
- [18] Shi J W, Yu S Q, Yu L Z, Han Y Z, Wang Z Q, Guo D L. Application of minirhizotron in fine root studies. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(4): 715-719.
- [19] Fitter A H, Graves J D, Self G K, Brown T K, Bogie D S, Taylor K. Root production, turnover and respiration under two grassland types along an altitudinal gradient: influence of temperature and solar radiation. *Oecologia*, 1998, 114(1): 20-30.

- [20] Noguchi K, Sakata T, Mizoguchi T, Takahashi M. Estimating the production and mortality of fine roots in a Japanese cedar (*Cryptomeria Japonica* D. Don) plantation using a minirhizotron technique. *Journal of Forest Research*, 2005, 10(6): 435-441.
- [21] Joslin J D, Wolfe M H. Disturbances during minirhizotron installation can affect root observation data. *Soil Science Society of America Journal*, 1999, 63(1): 218-221.
- [22] Pregitzer K S, Zak D R, Maziasz J, DeForest J, Curtis P S, Lussenhop J. Fine root growth, mortality, and morphology in a factorial elevated atmospheric CO₂ × soil N availability experiment. *Ecological Applications*, 2000, 10: 18-33.
- [23] Khiewtam R S, Ramakrishnan P S. Litter and fine root dynamics of a relict sacred grove forest at Cherrapunji in north-eastern India. *Forest Ecology and Management*, 1993, 60(3/4): 327-344.
- [24] Fahey T J, Hughes J W, Pu M. Root decomposition and nutrient flux following whole-tree harvest of northern hardwood forest. *Forest Science*, 1988, 34(3): 744-768.
- [25] Yang Y S, Guo J F, Chen G S, Xie J S, Gao R, Li Z, Jin Z. Litter production, seasonal pattern and nutrient return in seven natural forests compared with a plantation in southern China. *Forestry*, 2005, 78(4): 403-415.
- [26] Sayer E J, Tanner E V J, Cheesman A W. Increased litterfall changes fine root distribution in a moist tropical forest. *Plant and Soil*, 2006, 281(1/2): 5-13.
- [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. *New Phytologist*, 2003, 158(3): 489-501.
- [28] Pregitzer K S. Woody plants, carbon allocation and fine roots. *New Phytologist*, 2003, 158(3): 421-423.
- [29] Gholz H L, Hendry L C, Cropper W P. Organic matter dynamics of fine roots in plantations of slash pine (*Pinus elliottii*) in north Florida. *Canadian Journal of Forest Research*, 1986, 16(3): 529-538.
- [30] Guo J F, Chen G S, Qian W, Yang S H, Yang Y S, Zheng Q R. Litter production and nutrient return in two natural forests and a *Cunninghamia lanceolata* plantation in Wanmulin Nature Reserve. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(12): 4091-4098.
- [31] Tierney G L, Fahey T J. Evaluating minirhizotron estimates of fine root longevity and production in the forest floor of a temperate broadleaf forest. *Plant and Soil*, 2001, 229(2): 167-176.
- [32] Fukuzawa K, Shibata H, Takagi K, Satoh F, Koike T, Sasa K. Vertical distribution and seasonal pattern of fine-root dynamics in a cool-temperate forest in northern Japan: implication of the understory vegetation, Sasa dwarf bamboo. *Ecological Research*, 2007, 22(3): 485-495.

参考文献:

- [3] 卫星, 张国珍. 树木细根主要研究领域及展望. *中国农学通报*, 2008, 24(5): 143-147.
- [7] 单建平, 陶大立. 国外对树木细根的研究动态. *生态学杂志*, 1992, 11(4): 46-49.
- [8] 姜红英, 谷加存, 邱俊, 王政权. 2004—2008 年落叶松人工林细根生产和死亡的季节动态. *应用生态学报*, 2010, 21(10): 2465-2471.
- [15] 李俊英, 王孟本, 史建伟. 应用微根管法测定细根指标方法评述. *生态学杂志*, 2007, 26(11): 1842-1848.
- [16] 史建伟, 王政权, 于水强, 全先奎, 孙玥, 贾淑霞, 梅莉. 落叶松和水曲柳人工林细根生长、死亡和周转. *植物生态学报*, 2007, 31(2): 333-342.
- [17] 王孟本, 陈建文, 史建伟, 荀俊杰, 李俊英. 柠条人工幼林细根生长和死亡的季节变化. *生态学报*, 2010, 30(19): 5121-5131.
- [18] 史建伟, 于水强, 于立忠, 韩有志, 王政权, 郭大立. 微根管在细根研究中的应用. *应用生态学报*, 2006, 17(4): 715-719.
- [30] 郭剑芬, 陈光水, 钱伟, 杨少红, 杨玉盛, 郑群瑞. 万木林自然保护区 2 种天然林及杉木人工林凋落量及养分归还. *生态学报*, 2006, 26(12): 4091-4098.

CONTENTS

Growth and physiological adaptation of <i>Messerschmidia sibirica</i> to sand burial on coastal sandy	WANG Jin, ZHOU Ruilian, ZHAO Halin, et al (4291)
Alleviation effect and mechanism of exogenous potassium nitrate and salicylic acid on the growth inhibition of <i>Pinus tabulaeformis</i> seedlings induced by deicing salts	ZHANG Ying, LI Fayun, YAN Xia, et al (4300)
Influence of different spatial-scale factors on stream macroinvertebrate assemblages in the middle section of Qiantang River Basin	ZHANG Yong, LIU Shuoru, YU Haiyan, et al (4309)
Species diversity and distribution pattern of non-volant small mammals along the elevational gradient on eastern slope of Gongga Mountain	WU Yongjie, YANG Qisen, XIA Lin, et al (4318)
A patch-based method for mechanism analysis on spatial dynamics of mangrove distribution	LI Chungan, LIU Suqing, FAN Huangqing, et al (4329)
Nutrient heterogeneity in fine roots of six subtropical natural tree species	XIONG Decheng, HUANG Jinxue, YANG Zhijie, et al (4343)
Variation of vegetation NDVI and its response to climate change in Zhejiang Province	HE Yue, FAN Gaofeng, ZHANG Xiaowei, et al (4352)
Heterogeneity in fine root respiration of six subtropical tree species	ZHENG Jinxing, XIONG Decheng, HUANG Jinxue, et al (4363)
Characteristics of ammonia-oxidizing bacteria and ammonia-oxidizing archaea abundance in soil organic layer under the subalpine/alpine forest	WANG Ao, WU Fuzhong, HE Zhenhua, et al (4371)
Effect of tillage systems on light fraction carbon in a purple paddy soil	ZHANG Junke, JIANG Changsheng, HAO Qingju, et al (4379)
Effects of prescribed fire on carbon sequestration of long-term grazing-excluded grasslands in Inner Mongolia	HE Nianpeng, HAN Xingguo, YU Guirui, et al (4388)
Stoichiometry of carbon dioxide and methane emissions in Minjiang River estuarine tidal wetland	WANG Weiqi, ZENG Congsheng, TONG Chuan, et al (4396)
Distribution and sources of particulate organic carbon in the Pearl River Estuary in summer 2010	LIU Qingxia, HUANG Xiaoping, ZHANG Xia, et al (4403)
The glucose-utilizing bacterial diversity in the cold spring sediment of Shawan, Xinjiang, based on stable isotope probing	CHU Min, WANG Yun, ZENG Jun, et al (4413)
Culture-dependent and culture-independent approaches to studying soil microbial diversity	LIU Guohua, YE Zhengfang, WU Weizhong (4421)
The classification of plant functional types based on the dominant herbaceous species in the riparian zone ecosystems in the Yiluo River	GUO Yili, LU Xunling, DING Shengyan (4434)
Genetic diversity of different eco-geographical populations in endangered plant <i>Prunus mongolica</i> by ISSR Markers	ZHANG Jie, WANG Jia, LI Haoyu, ZHANG Huirong, et al (4443)
Ecophysiological characteristics of higher-latitude transplanted mangrove <i>Kandelia candel</i> in strong tidal range area	ZHENG Chunfang, QIU Jianbiao, LIU Weicheng, et al (4453)
The effect of artificial warming during winter on white clover (<i>Trifolium repens</i> Linn): overwintering and adaptation to coldness in late spring	ZHOU Ruilian, ZHAO Mei, WANG Jin, et al (4462)
Estimating fine root production and mortality in subtropical <i>Altingia grailipes</i> and <i>Castanopsis carlesii</i> forests	HUANG Jinxue, LING Hua, YANG Zhijie, et al (4472)
The cloning and expression of WUE-related gene (<i>PdEPF1</i>) in <i>Populus deltoides</i> × <i>Populus nigra</i>	GUO Peng, JIN Hua, YIN Weilun, et al (4481)
The allelopathy of aquatic rhizome and root extract of <i>Thalia dealbata</i> to seedling of several aquatic plants	MIAO Lihua, WANG Yuan, GAO Yan, et al (4488)
Effect of the avirulent strain of <i>Ralstonia solanacearum</i> on the ecological characteristics of microorganism fatty acids in the rhizosphere of tobacco	ZHENG Xuefang, LIU Bo, LAN Jianglin, et al (4496)
Coupling remotely sensed information with a rice growth model by combining updating and assimilation strategies	WANG Hang, ZHU Yan, MA Mengli, et al (4505)
Effects of water temperature and body weight on metabolic rates of Yellowtail clownfish <i>Amphiprion clarkii</i> (Pisces: Perciformes) during larval development	YE Le, YANG Shengyun, LIU Min, et al (4516)
The distribution of chlorophyll a in the Southwestern Indian Ocean in summer	HONG Lisha, WANG Chunsheng, ZHOU Yadong, et al (4525)
Evaluation of the effects of ecological remediation on the water quality and biological toxicity of Dagou Drainage River in Tianjin	WANG Min, TANG Jingchun, ZHU Wenyong, et al (4535)
Quantitative dynamics of adult population and 3-D spatial pattern of <i>Ceoporus variabilis</i> (Baly)	WANG Wenjun, LIN Xuefei, ZOU Yunding, et al (4544)
Review and Monograph	
Studies on urban heat island from a landscape pattern view: a review	CHEN Ailian, SUN Ranhao, CHEN Liding (4553)
Sediment quality triad and its application in coastal ecosystems in recent years	WU Bin, SONG Jinming, LI Xuegang, et al (4566)
Discussion	
Food waste management in China: status, problems and solutions	HU Xinjun, ZHANG Min, YU Junfeng, et al (4575)
Scientific Note	
Effects of microchemical substances in anaerobic fermented liquid from rice straw and cyanobacteria on <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>niveum</i> growth	LIU Aimin, XU Shuangsoo, CAI Xin, et al (4585)
Ecological benefit-loss analysis of agricultural ecosystem in Foshan City, China	YE Yanqiong, ZHANG Jiaen, QIN Zhong, et al (4593)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态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 14 期 (2012 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 14 (July, 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