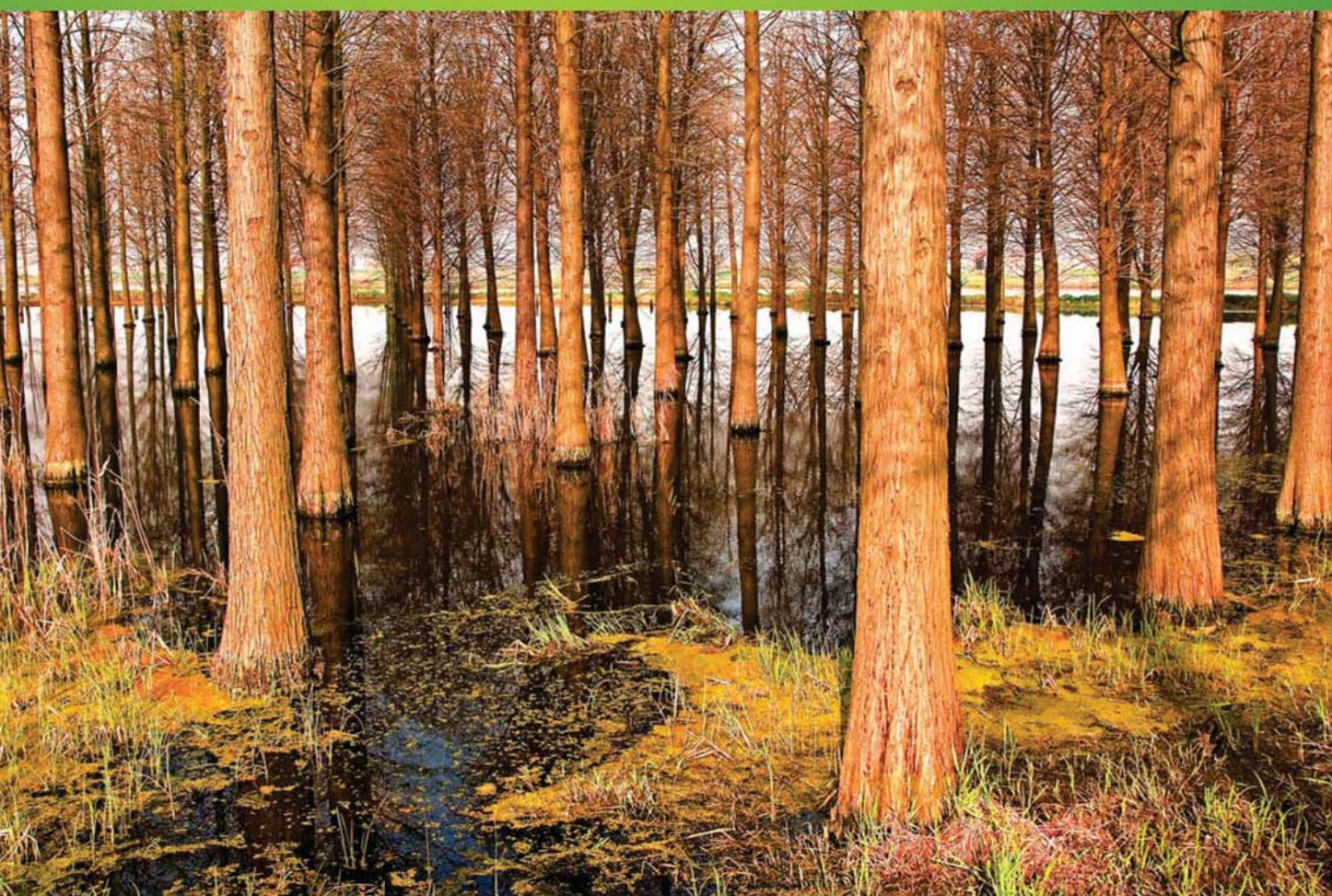


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第3期 Vol.32 No.3 **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 3 期

2012 年 2 月 (半月刊)

目 次

夏季可可西里雌性藏原羚行为时间分配及活动节律	连新明, 李晓晓, 颜培实, 等 (663)
热带印度洋黄鳍金枪鱼渔场时空分布与温跃层的关系	杨胜龙, 张 禹, 张 衡, 等 (671)
洪湖水体藻类藻相特征及其对生境的响应	卢碧林, 严平川, 田小海, 等 (680)
广西西端海岸四种红树植物天然种群生境高程	刘 亮, 范航清, 李春千 (690)
高浓度 CO ₂ 引起的海水酸化对小珊瑚藻光合作用和钙化作用的影响	徐智广, 李美真, 霍传林, 等 (699)
盖度与冠层水深对沉水植物水盾草光谱特性的影响	邹维娜, 袁 琳, 张利权, 等 (706)
基于 C-Plan 规划软件的生物多样性就地保护优先区规划——以中国东北地区为例	栾晓峰, 孙工棋, 曲 艺, 等 (715)
城市化对本土植物多样性的影响——以廊坊市为例	彭 羽, 刘雪华, 薛达元, 等 (723)
利用红外相机调查北京松山国家级自然保护区的野生动物物种	刘 芳, 李迪强, 吴记贵 (730)
基于树木起源、立地分级和龄组的单木生物量模型	李海奎, 宁金魁 (740)
千岛湖社鼠种群遗传现状及与生境面积的关系	刘 军, 鲍毅新, 张 旭, 等 (758)
气候变化对内蒙古草原典型植物物候的影响	顾润源, 周伟灿, 白美兰, 等 (767)
中国西北典型冰川区大气氮素沉降量的估算——以天山乌鲁木齐河源 1 号冰川为例	王圣杰, 张明军, 王飞腾, 等 (777)
植被类型对盐沼湿地空气生境节肢动物功能群的影响	童春富 (786)
黔西北铅锌矿区植物群落分布及其对重金属的迁移特征	邢 丹, 刘鸿雁, 于萍萍, 等 (796)
云南中南部季风常绿阔叶林恢复生态系统萌生特征	苏建荣, 刘万德, 张志钧, 等 (805)
筑坝扩容下高原湿地拉市海植物群落分布格局及其变化	肖德荣, 袁 华, 田 昆, 等 (815)
三峡库区马尾松根系生物量的空间分布	程瑞梅, 王瑞丽, 肖文发, 等 (823)
兴安落叶松林生物量、地表枯落物量及土壤有机碳储量随林分生长的变化差异	王洪岩, 王文杰, 邱 岭, 等 (833)
内蒙古放牧草地土壤碳固持速率和潜力	何念鹏, 韩兴国, 于贵瑞 (844)
不同林龄马尾松凋落物基质质量与土壤养分的关系	葛晓改, 肖文发, 曾立雄, 等 (852)
不同丛枝菌根真菌侵染对土壤结构的影响	彭思利, 申 鸿, 张宇亭, 等 (863)
不同初始含水率下粘质土壤的入渗过程	刘目兴, 聂 艳, 于 婧 (871)
不同耕作措施的温室气体排放日变化及最佳观测时间	田慎重, 宁堂原, 迟淑筠, 等 (879)
外源铅、铜胁迫对不同基因型谷子幼苗生理生态特性的影响	肖志华, 张义贤, 张喜文, 等 (889)
温度和盐度对吉富品系尼罗罗非鱼幼鱼鳃 Na ⁺ -K ⁺ -ATPase 活力的联合效应	王海贞, 王 辉, 强 俊, 等 (898)
基于元胞自动机的喀斯特石漠化格局模拟研究	王晓学, 李叙勇, 吴秀芹 (907)
边缘细胞对荞麦根尖铝毒的防护效应和对细胞壁多糖的影响	蔡妙珍, 王 宁, 王志颖, 等 (915)
川中丘陵区人工柏木防护林适宜林分结构及水文效应	龚固堂, 黎燕琼, 朱志芳, 等 (923)
基于 AHP 与 Rough Set 的农业节水技术综合评价	翟治芬, 王兰英, 孙敏章, 等 (931)
基于 DMSP/OLS 影像的我国主要城市群空间扩张特征分析	王翠平, 王豪伟, 李春明, 等 (942)
生态旅游资源非使用价值评估——以达赉湖自然保护区为例	王朋薇, 贾竞波 (955)
专论与综述	
基于有害干扰的森林生态系统健康评价指标体系的构建	袁 菲, 张星耀, 梁 军 (964)
硅对植物抗虫性的影响及其机制	韩永强, 魏春光, 侯茂林 (974)

研究简报

光照条件、植株冠层结构和枝条寿命的关系——以桂花和水杉为例	占 峰, 杨冬梅 (984)
Bt 玉米秸秆还田对小麦幼苗生长发育的影响	陈小文, 祁 鑫, 王海永, 等 (993)
汶川大地震灾后不同滑坡体上柏木体内非结构性碳水化合物特性	陈 博, 李志华, 何 茜, 等 (999)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 344 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2012-02



封面图说: 难得的湿地乔木——池杉池杉为落叶乔木, 高达 25 米, 主干挺直, 树冠尖塔。树干基部膨大, 常有屈膝状吐吸根, 池杉为速生树, 强阳性, 耐寒性较强, 耐干旱, 更极耐水淹, 多植于湖泊周围及河流两岸, 是能在在水里生长的极少数的大乔木之一, 故有湿地乔木之称。池杉原产美国弗吉尼亚沼泽地, 中国于本世纪初引种到江苏等地, 之后大量引种南方各省, 尤其是长江南北水网地区作为重要造树和园林树种而大量栽种。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201104280561

程瑞梅, 王瑞丽, 肖文发, 封晓辉, 刘泽彬, 葛晓改, 王晓荣, 张炜银. 三峡库区马尾松根系生物量的空间分布. 生态学报, 2012, 32(3): 823-832.
Cheng R M, Wang R L, Xiao W F, Feng X H, Liu Z B, Ge X G, Wang X R, Zhang W Y. Spatial distribution of root biomass of *Pinus massoniana* plantation in Three Gorges Reservoir area, China. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(3): 823-832.

三峡库区马尾松根系生物量的空间分布

程瑞梅¹, 王瑞丽¹, 肖文发^{1,*}, 封晓辉^{1,2}, 刘泽彬¹, 葛晓改¹, 王晓荣^{1,3}, 张炜银¹

(1. 国家林业局森林生态环境重点实验室, 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 北京 100091;

2. 中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心, 石家庄 050021; 3. 湖北省林业科学研究院, 武汉 430079)

摘要:以三峡库区主要植被马尾松人工林为研究对象, 用内径为 10 cm 的根钻, 分别在马尾松中龄林、近熟林和成熟林内, 据树干 0.5、1.0、1.5 m 和 2.0 m 处设置取样点, 各样点按 0—10、10—20、20—30、30—40、40—60 cm 将土壤分为 5 个垂直层次, 对马尾松根系的空间分布格局进行调查。结果表明: (1) 三峡库区马尾松总根系生物量(0—10 mm) 为中龄林(4.72 t/hm²) 显著高于成熟林(2.94 t/hm²) 和近熟林(2.40 t/hm²) ($P < 0.05$)。细根(0—2 mm) 生物量随年龄增加而递减, 差异不显著($P > 0.05$); (2) 马尾松 3 个林龄中根系生物量表现出一定的水平分布特征, 但具体趋势表现各异, 细根生物量最大值均出现在距离样木 1.0 m 处; (3) 细根主要分布在土壤上层, 其中 47.53%—71.73% 的活细根集中在 0—20 cm 土壤深度内, 且随土层的加深, 其生物量明显减少。粗根(2—10 mm) 则主要分布于 20—60 cm 土层范围内; (4) 根系直径越小, 受环境变化越明显。马尾松细根生物量分布主要受土壤深度的影响, 树龄和不同水平距离对细根分布格局影响不显著($P > 0.05$), 各因素对粗根生物量的影响均未达到显著水平($P > 0.05$)。

关键词:根系生物量; 空间分布; 马尾松; 三峡库区

Spatial distribution of root biomass of *Pinus massoniana* plantation in Three Gorges Reservoir area, China

CHENG Ruimei¹, WANG Ruili¹, XIAO Wenfa^{1,*}, FENG Xiaohui^{1,2}, LIU Zebin¹, GE Xiaogai¹, WANG Xiaorong^{1,3}, ZHANG Weiyin¹

1 Key Laboratory of Forest Ecology and Environment, the State Forestry Administration; Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

2 Center for Agricultural Resources Research, Institute of Genetics and Developmental Biology, Chinese Academy of Sciences, Shijiazhuang 050021, China

3 Hubei Forestry Academy, Wuhan 430079, China

Abstract: Roots play an important role in individual plant carbon budgets and ecosystem-level carbon and nutrient cycling. Considerable research has concentrated on the vertical distribution and seasonal dynamics of fine root biomass. However, the spatial distribution of root biomass has been poorly studied. Our objectives are to determine how fine root biomass changes with horizontal distance, and to examine the spatial distribution of fine root biomass in stands of different ages.

The horizontal and vertical distribution of root (0—10 mm diameter) biomass for three *Pinus massoniana* plantations of different ages, 20, 30 and 46 year-old, in the Three Gorges Reservoir area, Hubei Province, China, was studied. Ten cm diameter soil cores were collected in July, 2010 at different horizontal distances (0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 m) from the stem. Each soil core was separated into five sections at depths of 0—10, 10—20, 20—30, 30—40 and 40—60 cm. Roots (0—10 mm) were first separated into living and dead roots. Then both categories were classified into two diameter classes, that

基金项目:中国林科院森林生态环境与保护研究所专项资金(CAFIFEEP201006); 国家林业局林业公益性行业专项(20114008)

收稿日期:2011-04-28; **修订日期:**2011-11-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xiaowenf@caf.ac.cn

was, two groups for fine roots (0—1mm and 1—2mm), and two groups for coarse roots (2—5mm and 5—10mm). Roots were dried at 80°C to a constant mass and weighed.

Our results indicated the average fine root biomass of *P. massoniana* in the Three Gorges Reservoir area was 0.56 t/hm², which is within the range of worldwide fine root biomass (<2—5mm diameter), but lower than the average fine root biomass of subtropical evergreen needleleaf forest. The total root biomass (≤ 10 mm diameter) for *P. massoniana* forest for the 20, 30 and 46 year-old stands was 2.40, 4.72 t/hm², and 2.94 t/hm², respectively, and differences between them were statistically significant ($P < 0.05$). However, the fine root biomass (0—2mm diameter) declined insignificantly with an increase in forest age ($P > 0.05$). In all three stands, living root biomass was much higher than dead root biomass. Fine root biomass in all the stands peaked at 1.0 m from the stem, but fine root biomass in stands of different ages changed differently as the horizontal distance increased. Fine root biomass was mainly concentrated in the upper soil layer and decreased as soil depth increased. For all ages of stands, 47.53%—71.73% of living roots were observed in the 0—20cm soil layer. The majority of coarse roots (2—10mm diameter) were at a depth of 20—60cm. We concluded smaller roots were more sensitive to environmental change than larger roots, based on an analysis of the interactions between the spatial distribution of fine root biomass and soil depth, distance from stem and stand age. Spatial distribution of fine root biomass was very significantly influenced by soil depth ($P < 0.01$), but effects of stand age and horizontal distance from the tree stem were not significant ($P > 0.05$). Also, all these factors had no significant influence on the spatial distribution of coarse root biomass ($P > 0.05$). The results indicate more consideration should be given to research on the spatial distribution of roots and the effects of these integrated factors on root distribution.

Key Words: fine root biomass; horizontal distribution; *Pinus massoniana*; Three Gorges Reservoir

根系是植物重要的功能器官,它不但为植物吸收养分和水分、固定地上部分,而且通过呼吸和周转消耗光合产物并向土壤输入有机质^[1]。根系,尤其是细根,在发挥植物功能和陆地生态系统能量流动和物质循环中扮演重要角色^[2]。细根通常是指直径小于 2 mm 的根,具有巨大的吸收表面积,是树木吸收水分和养分的主要器官^[3]。然而,由于受到采样困难和方法等条件的限制,有关地下部分的研究远远少于对地上部分的研究^[3-4]。以往对细根分布的研究多集中在其垂直方向和季节动态,多采用随机取样^[5]、离树干特定距离^[6]或平均标准木机械布点法^[7]的方法来进行取样,未考虑水平距离对细根生物量的影响或假定从树干基部到树冠落水线根系的生物量呈递减规律。然而,越来越多的研究表明细根分布不仅在垂直方向上有差异,水平分布的差别也同样不容忽视^[8-11]。目前,普遍认为细根生物量随着土壤深度的增加而逐渐减少^[4],而细根分布在水平方向上的变化却无定论^[11-12]。Vamerali 等^[13]、王树堂等^[7]利用地统计学的方法研究细根生物量及其空间分布,为我们解决地下根系空间分布的异质性提供了新的方法。

三峡库区地处中亚热带北缘,植被和气候处于过渡状态,其复杂的地形变化使得该地区的生态系统十分敏感和脆弱^[14]。本文以三峡库区主要植被马尾松(*Pinus massoniana*)人工林为研究对象,利用根钻法研究马尾松根系的空间分布,重点讨论了马尾松细根在垂直方向和水平方向的分布格局,分析了空间分布和林分特征对细根生物量的交互作用,为进一步了解三峡库区马尾松地下碳分配提供基础数据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区自然概况

研究区域位于湖北省秭归县茅坪镇,紧邻三峡大坝,地理位置在 30°38'14"—31°11'31"N, 110°00'04"—110°18'41"E。秭归县属亚热带大陆性季风气候,温暖湿润,四季分明,光照水热充足。年平均气温为 7.8—18℃,年降水量为 950—1900 mm,多集中在夏季,而冬季雨水少,相对湿度较大,可达 60%—80%。地带性土壤为黄壤,其它土壤类型主要有黄棕壤、紫色土、冲积土等分布。由于过度开发,自然植被破坏严重,现有植被主要为残次林和人工林。研究区境内分布有大面积的马尾松(*Pinus massoniana*)人工林,混交树种主要有冬青

(*Ilex chinensis*)、化香(*Platycarya strobilacea*)、枫香(*Liquidambar formosana*)、栎类(*Quercus*)等树林;林下伴生植物主要有茶(*Camellia sinensis*)、黄栌(*Cotinus coggygia*)、胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、马桑(*Coriaria sinica*)、杜鹃(*Rhododendron simsii*)、菝葜(*Smilax china*)等;草本有芒(*Miscanthus sinensis*)、白茅(*Imperata cylindrica* var. *major*)、具芒碎米莎草(*Cyperus microiria*)、蕨类如紫萁(*Osmunda japonica*)等^[15]。

中龄林和成熟林位于秭归县茅坪镇罗家林场(30°47' N, 110°55' E),近熟林位于兰陵村(30°52' N, 110°54' E),不同林分的林分特征及土壤性质见表1。

表1 不同林龄马尾松林试验地概况

Table 1 General status of sampling sites of *Pinus massoniana* forests at different ages

因子 Parameters	林分 Forest stand		
	中龄林 I Middle-age stand	近熟林 II Pre-mature stand	成熟林 III Mature stand
	林分特征		
平均树龄 Average age/a	20	30	46
海拔 Altitude/m	964	357	987
坡度 Slope/(°)	10	20	18
平均胸径 DBH/cm	15.5	23.0	34.5
平均树高 Height/m	17.2	23.0	25.7
郁闭度 Canopy density	0.6	0.8	0.7
	土壤性质 (0—10cm)		
土壤厚度 Depth of soil/cm	75—90	40—50	75—90
土壤容重 Soil bulk density/(g/cm ³)	1.24	1.59	1.03
有机质 Organic matter/(g/kg)	73.10	22.05	106.10
全氮 Total N/(g/kg)	3.28	1.43	4.22

1.2 研究方法

1.2.1 取样

2010年7月旬,分别在不同林龄马尾松林中各设立3块20 m×20 m标准地,进行每木检尺。采用根钻进行野外根系和土壤取样,根钻内径10 cm、筒长18 cm。在各样地内分别选择5株标准木作为样树,测定样木与相邻马尾松的水平距离,同时在确定取样点位置时尽量避免周围植株与样木的水平距离较近,以减少对样木细根量的影响。分别在距样木0.5、1.0、1.5及2.0 m的位置处,随机选择3个方向作为取样点,每点按0—10、10—20、20—30、30—40、40—60 cm分为5个垂直层次,用根钻进行根系分布特征调查。近熟林由于土层较薄,植株较密,在距样木0.5、1.0及1.5 m的位置处,分4个垂直层次取样。在每一样地,将围绕同一株样树现场采集到的每一层次的土壤样品捡出石砾,放入编号的土壤袋中,然后带回实验室充分混匀后进行样品的处理与分析。

1.2.2 根系样品分析

正式试验开始之前,进行预实验。通过多次仔细观察来区分马尾松和其他植物根,并应用TTC染色法验证分选出的活、死根,正确率达到90%以上方可。

在实验室内把土样用水泡软后,倒入筛孔为20目的筛网,用水冲洗,重复几次,将洗净后的根放入白色的塑料盆内,注入少量水份,然后分捡马尾松及其它植物根系。在根系分捡中,根据细根的颜色、外形、弹性、根皮与中柱分离的难易程度^[6],同时结合漂浮法区分活根和死根。利用游标卡尺将根系按直径分为细根(0—2 mm)和粗根(2—10 mm),且进一步细化为0—1 mm和1—2 mm细根,2—5 mm和5—10 mm粗根。分捡好的各径级根在80℃烘干至恒重(24 h),用电子天平称重(精确到0.001 g),据此计算细根生物量:

$$\text{细根生物量}(\text{t}/\text{hm}^2) = \text{平均每个土芯根干重}(\text{g}) \times 10^2 / [\pi(\Phi/2)^2]$$

式中, Φ 为根钻的直径,文中 $\Phi=10$ cm。

1.2.3 土壤性质的测定

土壤取样点的分布基本采用S形。每个标准样地随机选取3个点取样,每个点重复3次,相同土层的土

壤组成一个混合土样。取样点去除地表的凋落物层,然后用土钻按照 0—10、10—20、20—30、30—40、40—60 cm 分为 5 个垂直层次进行采样。带回实验室充分混匀并去掉土壤中可见植物根系和残体后,将野外采集的新鲜土壤均匀平铺在干净透气的纸上,放在室内阴凉通风处自行干燥。待土样风干后,剔除石块、根系、钙核、动植物残体等杂物后倒入陶瓷研钵中研细,使其全部过 100 目筛,装袋供土壤全含量成分分析(有机碳、全氮)。有机质的测定采用重铬酸钾氧化-外加热法;全氮的测定采用凯氏定氮法。

1.3 数据处理

使用 Microsoft Excel 2003 计算各径级根系生物量的平均数、标准差和百分比。依据 SPSS16.0 软件中 One-way ANOVA 和 LSD 多重比较结果来评价不同林龄内不同土层深度、不同水平距离根系生物量的差异显著性;利用一般线性模型中的多因素方差分析,将活根和死根生物量作为因变量,土层深度、水平距离和林龄作为固定因素,来分析所有因素对马尾松细根生物量分布的主效应及交互效应。利用 SigmaPlot 11.0 软件和 Excel 作图。

2 结果

2.1 不同林分类型的根系生物量

马尾松 3 个不同林分的根系(0—10 mm)生物量依次为:中龄林 I (4.72 t/hm^2) > 成熟林 III (2.94 t/hm^2) > 近熟林 II (2.40 t/hm^2) (表 2)。3 个林分类型均为粗根(5—10 mm)所占比例最高,且极显著高于其他各径级生物量 ($P < 0.01$),中龄林内 0—1 mm 根系生物量最低,近熟林及成熟林内均为 1—2 mm 根系生物量最低;活根生物量中,中龄林活根生物量最大,但占该林分内根系总量的比例最小,近熟林内正好相反。另外,中龄林内死根生物量最大,且所占根系总量比例也为 3 个林分中的最大值,死根生物量和所占比例最小值出现在近熟林。

3 个林分内马尾松细根生物量(0—2 mm)依次为:中龄林(0.68 t/hm^2) > 近熟林(0.59 t/hm^2) > 成熟林(0.52 t/hm^2),但近熟林内细根在林分内所占总根系的比例最大。0—1 mm 细根占细根总量的 48.53%—67.80%,说明 0—1 mm 细根在马尾松细根中占有重要地位。在细根生物量中,细根现存量与细根的发生和死亡分解有密切关系,活/死细根比是十分重要的根系参数,土壤水分、养分、树木年龄等都会对活/死根比产生重要影响。从活/死根生物量比值来看,近熟林(6.96)远大于成熟林(2.56)和中龄林(2.43),反映了近熟林内的细根处于较快的生长、死亡和周转过程中。

表 2 各林分中不同直径的根系生物量

Table 2 Root biomass with different diameters in three stand types

林分类型 Stand types	直径 Diameter /mm	生物量 Biomass/(t/hm^2)		
		活根 Living root	死根 Dead root	总量 Total
中龄林 I Middle-age stand	0—1	0.24(5.08) aA	0.09(1.91) aA	0.33(6.99)
	1—2	0.25(5.30) aA	0.10(2.12) aA	0.35(7.42)
	2—5	0.73(15.47) bB	0.34(7.20) bB	1.07(22.67)
	5—10	1.75(37.08) cC	1.22(25.85) cC	2.97(62.92)
	总计 Total	2.96(62.92)	1.75(37.08)	4.72(100.00)
近熟林 II Pre-mature stand	0—1	0.34(14.11) aA	0.06(2.49) aA	0.40(16.60)
	1—2	0.18(7.47) aA	0.01(0.41) aA	0.19(7.88)
	2—5	0.40(16.60) aA	0.04(1.66) aA	0.44(18.26)
	5—10	1.18(48.96) bB	0.20(8.30) bB	1.38(57.26)
	总计 Total	2.10(87.14)	0.30(12.86)	2.41(100.00)
成熟林 III Mature stand	0—1	0.20(6.62) aA	0.09(3.08) aA	0.29(9.70)
	1—2	0.17(5.66) bA	0.06(1.97) aA	0.23(7.63)
	2—5	0.35(11.74) cA	0.13(4.48) aA	0.48(16.22)
	5—10	1.51(51.39) dB	0.44(15.06) bB	1.96(66.44)
	总计 Total	2.22(75.40)	0.72(24.60)	2.94(100.00)

表中数据中龄林和成熟林为 60 个样本的平均值,近熟林内数据为 36 个样本均值,括号内为根系所占百分比;同一林分内同列中小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$),大写字母不同代表差异极显著 ($P < 0.01$)

2.2 根系生物量在不同水平距离处的分布格局

由图 1 可以看出,马尾松 0—10 mm 根系生物量表现出一定的水平分布特征。近熟林内根系生物量随水平距离增加而增加,中龄林却表现出相反的趋势,成熟林在距离树干 0.5 m 处根系生物量最低,其余 3 个水平距离处相差不大。中龄林在距离树干 0.5 m 处根系生物量最大(4.18 t/hm^2),近熟林根系生物量在距离树干 1.5 m 处达到最大值(2.63 t/hm^2),成熟林最大值(3.04 t/hm^2)出现在水平距离 2.0 m 处。方差分析结果表明,各样地内根系生物量在距树干不同水平距离处差异不显著($P>0.05$)。

不同林分条件下,马尾松细根生物量均在距离树干 1.0 m 处达到最大值,但随水平距离的增加,细根生物量的变化趋势在不同林分中表现各异(图 1)。同样发现,3 个林分内距离树干最远处根系生物量均有所增加,这很可能是受周围其他马尾松的根系分布的影响。

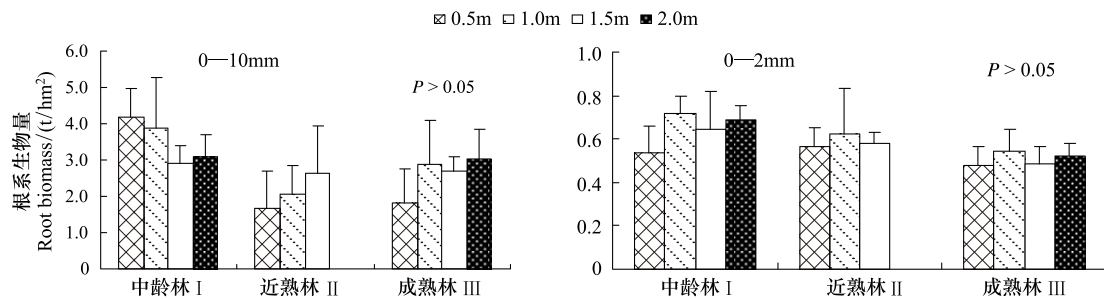


图 1 各林分内不同水平距离处的 0—10 mm 根系和 0—2 mm 细根生物量

Fig. 1 Total root ($\leq 10 \text{ mm}$) biomass and fine root ($\leq 2 \text{ mm}$) biomass in horizontal distribution of three stands

2.3 根系生物量的垂直分布

从不同深度土壤中根系生物量的分布比例来看,三峡库区马尾松林 0—10 mm 根系整体表现为随着土层的加深先增加后减少的趋势,3 个林分内死根和活根比例的垂直分布格局基本一致(图 2)。中龄林内,67.69%的活根和 84.71%的死根存在于 0—30 cm 土壤内;近熟林内,0—30 cm 土壤内含有 84.14%的活根和 94.76%的死根;而在成熟林中,72.30%的活根和 83.65%的死根分布在 20—60 cm 的土层中。这主要是由于成熟林中 5—10 mm 粗根占根系生物量的 66.44%,而粗根主要分布在 20—60 cm 土层内(图 3)。

比较 3 个林分内不同径级根系的垂直分布(图 3),发现各径级垂直分布特征不同。0—1 mm 和 1—2 mm 细根表现为随土层增加而递减;2—10 mm 根系在 3 个林分内垂直分布特征差异较大,但都主要分布在土壤中下层。中龄林(图 3),65.33%的活细根和 73.90%的死细根分布在 0—30 cm 土壤内;2—5 mm 活根在 20—60 cm 土层分布(占 71.29%)高于 0—20 cm 土壤,死根集中分在 20—30 cm 土壤内;5—10 mm 活根和死根分别在 10—20 cm 和 20—30 cm 土壤达到最大值。近熟林内(图 3)细根(0—2 mm)主要分布在 0—20 cm 土壤内,活根和死根分别占 71.73%、70.47%。其中 0—1 mm 根系主要集中在 0—10 cm 土壤内,活根和死根分别占 33.72%和 47.39%,且显著大于其他土层内的根生物量($P<0.05$);粗根(2—10 mm)的活根生物量远大于死根生物量,但都集中分布在 10—30 cm 土壤中。成熟林(图 3)内 72.04%的活细根分布在 0—30 cm 土壤内,84.76%的死细根则分布在 0—40 cm 土层中;粗根主要分布在 20—60 cm 中,82.70%的活粗根和 91.89%的死粗根都分布在这一范围内,这可能与成熟林内中下层土壤温度较低,而粗根分解速度慢而导致死根积累有关。

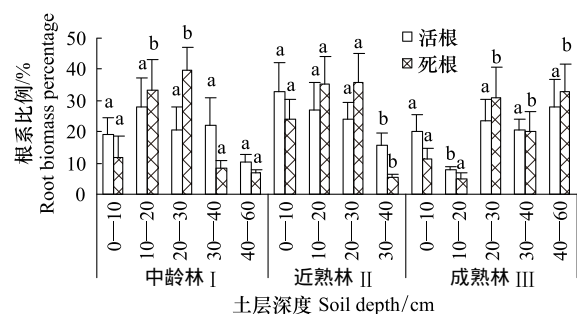


图 2 各林分内根系(0—10mm)的垂直分布特征

Fig. 2 Vertical distribution of root biomass ($\leq 10 \text{ mm}$) percentage in three forest stands

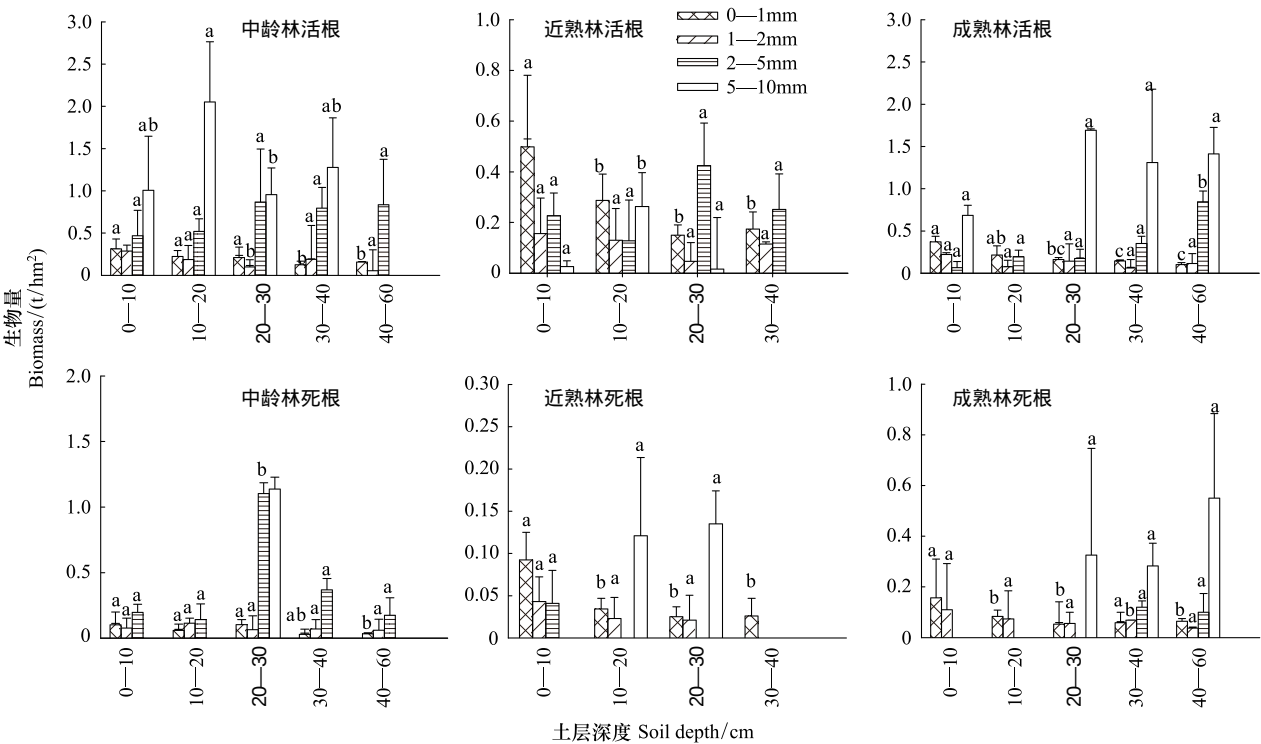


图3 3个林分内不同径级根生物量的垂直分布

Fig.3 Vertical distribution of root biomass with different diameters in three stands
同一径级上字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

2.4 影响根系空间分布的主要因子

本研究中,将不同土层根系生物量与土壤深度、水平距离和林龄进行综合分析(表3),结果发现三峡库区马尾松人工林0—1 mm 细根生物量主要受土壤深度的影响,不同水平距离对其影响未达到显著水平($P>0.05$);1—2 mm 细根受土壤深度、水平距离和林龄的影响不大;2—10 mm 根系生物量分布受交互作用均未达到显著水平($P>0.05$)。

表3 土层深度、水平距离和树龄对三峡库区马尾松细根生物量交互影响的方差分析表

Table 3 ANOVA for influence of different soil depth, distance and stand age on the fine root biomass of *Pinus massoniana* plantation in Three Gorges Reservoir area

变异来源 Source of variance	自由度 df	0—1 mm 活细根 Living fine root		0—1 mm 死细根 Dead fine root		1—2 mm 活细根 Living fine root		1—2 mm 死细根 Dead fine root	
		F	P	F	P	F	P	F	P
土层深度 S	4	12.019	0.000**	3.686	0.009**	1.044	0.397	0.366	0.823
水平距离 D	3	0.093	0.964	1.180	0.323	1.872	0.151	1.495	0.344
林龄 A	2	2.359	0.101	2.769	0.069	2.362	0.108	5.910	0.064
S×D	12	0.163	0.999	0.543	0.879	1.254	0.288	2.060	0.248
S×A	8	1.855	0.089	0.603	0.752	0.766	0.619	0.194	0.895
D×A	6	1.112	0.361	0.262	0.932	0.581	0.715	2.415	0.195
S×D×A	24	0.308	0.997	0.469	0.964	1.106	0.384	0.849	0.409

** $P < 0.01$

3 讨论

多数研究已证明,根系直径越小,周转越快,对环境变化越敏感^[16-17],土壤温度、降水等环境因素对粗根的影响不显著^[18]。因此,本文着重讨论三峡库区马尾松细根生物量的空间格局及空间分布和林分特征对细

根生物量的交互影响。

3.1 根系生物量的垂直分布格局

根系在土壤中的空间结构和分布决定了植物获取土壤资源的多寡以及植物个体间或种群间对土壤资源的竞争能力。Jackson 等^[2]认为,土壤空间异质性是导致根系分布空间异质性的主要原因。细根生物量的垂直分布随着土层的加深而减少,且多集中分布在土壤表层,主要是受到土壤理化性质和温度、水分含量的影响^[19]。三峡库区马尾松人工林内,47.53%—71.73%的活细根主要分布在0—20 cm土壤深度内,随土层的加深,其生物量明显减少(图3),而2—10 mm根系生物量则主要分布于20—60 cm土层范围内。

同一树种年龄较大的林分,细根趋向于表层,主要与幼龄或早期演替阶段腐殖层薄、土壤贫瘠,随着林分的发展,大量凋落物在表层积累有关^[20]。然而,本研究中3个林分细根在0—10 cm土层内所占比例分别为:近熟林45.33% > 成熟林31.17% > 中龄林27.17%。土壤各层次之间细根分布的差异既反映细根功能转换,又反映土壤资源有效性的变化。表层土壤养分含量高,且水分充足,温度适宜,因而细根主要集结在表层内以获取水分和养分;而分布在下层的细根,主要功能为吸收水分^[21]。作为演替早期的先锋树种,马尾松整体的根系分布较浅,可塑性强^[20]。立地条件是造成根系生物量差异的一个重要原因,环境条件的恶劣和资源的限制,使植物倾向于将更多的生物量分配给根系^[22]。Nadelhoffer^[23]认为细根生物量往往随着土壤N含量的增加而降低。近熟林内土壤较薄,土壤养分贫瘠,马尾松根系多集中在0—30 cm土壤内,细根集中在土壤表层,便于它充分利用林地表层的养分来维持生长,并不断改善下层土壤的营养条件和理化性质。另外,近熟林内海拔较低,而不同海拔高度将会引起土壤质地、结构、湿度、温度等环境因素的差异,进而影响植物根系的特性^[24]。随着海拔升高,温度降低,空气湿度和蒸汽压差增加,C/N增加,这些变化将会导致高海拔地区土壤氮矿化速率降低,养分供应不足,同时土壤含水量增加及水淹等将导致土壤透气性变差,从而影响细根动态^[25]。Leuschner 等^[26]对厄瓜多尔热带山地雨林研究表明,随海拔的升高,细根(<2 mm)和粗根(2—5 mm)都显著增加。

3.2 不同水平距离对马尾松根系生物量的影响

根系的生长是土壤水分、温度和养分综合作用的结果,既表现在不同的土壤层次之间,又表现在平均水平上^[27]。而目前有关细根生物量与树干水平距离间关系的研究,尚无定论。一些研究认为细根生物量与树干水平距离有关,如Persson 等^[9]研究表明细根生物量随着距离增加而减少,在离树干0.5—1.0 m处细根数量最多,杨秀云等也发现细根生物量在1.0 m处最大^[11];而另一些研究则表明森林中细根生物量分布与距树干水平距离无关^[28];也有结论认为树干距离对细根生长的影响大小与树木生长阶段密切相关^[8,12]。本文中,三峡库区马尾松中龄林、近成熟林和成熟林内细根生物量最大值均出现在距离样木1.0 m处,但随水平距离的增加,细根生物量的变化趋势在不同林分中表现各异。另外,在取样距离最远处,马尾松细根均有所增加,这可能和受周围其他马尾松的根系分布影响有关。

一般树根的扩展范围可超过冠幅,从而导致相邻树木根系一定程度上的交迭。同时,由于树冠对降水的再分配及对降水化学性质的影响而可能显著改变林冠下及树干周围的土壤湿度、化学性质等,并进而显著改变靠近树干一定范围内的细根分布特点^[10]。林隙或林窗微地形的存在,可以影响光照、温度、土壤理化性质以及微生物活动等,进而影响森林林木的生长和更新^[29]。马尾松细根均在1.0 m处达到最大值,可能与该处为相邻马尾松的中间位置,处于林冠边缘,光照和温度相对较好有关。因此,细根分布对土壤异质性有强烈的反应,取样时要考虑采样点的位置,尽量避免水平位置和周围环境对细根生物量的干扰而产生误差。

3.3 空间分布和林分特征对细根生物量的交互影响

3个林分内马尾松细根生物量平均为0.60 t/hm²,处于世界森林细根直径(<2—5 mm)生物量范围(0.46—28.05 t/hm²)之内,但低于亚热带常绿针叶林细根生物量(1.93 t/hm²)^[30],高于福建地区25年生马尾松纯林细根生物量(0.28 t/hm²)^[31]。

已有研究表明,细根生物量和林分特征(如树种、林龄、密度和断面积)、土壤性质或环境因子(主要为气

温、降雨、地理位置和海拔)等有关^[4,20]。但许多研究认为这些关系较弱,各研究结果不统一。Finér 等^[4]通过整理文献,共 512 个林分资料,发现环境因素(纬度、年平均降水量、海拔和温度)或林分因子(生活型、年龄和密度)不能解释总细根生物量(包括乔木层和林下植被)的大部分变异,而林分内的平均断面积却能解释总细根生物量 49% 的变化和乔木细根生物量 79% 的变化。本文将不同土层根系生物量与土壤深度、水平距离和林龄进行综合分析(表 3),表明三峡库区马尾松人工林 0—1 mm 细根生物量主要受土壤深度的影响,不同水平距离、林龄及交互作用对 1—10 mm 根系影响均不显著($P>0.05$),这一结论与杨秀云等^[11]相同。这表明了细根直径越小,周转越快,对环境变化越敏感。Andersen 等^[32]同样发现树龄和水平距离之间的交互作用对北美黄松(*Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws.)细根(≤ 2 mm)生物量不显著($P>0.05$)。

多数研究认为随着年龄或郁闭度增加,细根生物量逐步增加,然后保持不变或降低^[17,33]。陈光水等^[33]发现杉木(*Cunninghamia lanceolata*)中龄林和近成熟林的地下碳分配显著高于幼龄林和成熟林,而老龄林的则最低,而 Andersen 等^[32]、Campbell 等^[34]分别利用微根管和根钻法均得出北美黄松细根现存量幼龄林内最高,中龄林最低,不同林龄之间差异显著($P<0.05$)。本研究中细根生物量依次为:中龄林>近成熟林>成熟林,即随着年龄的增加细根生物量逐渐降低,且差别不显著($P>0.05$)。结论造成差异的原因可能为:(1)所选择的树种特性不同。在中亚热带地区,13—20 年生马尾松正处于速生期阶段,树高、直径在此阶段加速生长^[35]。此时,树木需要大量的水分和养分供应,因此需要相对大的根系统来支撑其地上部分生长。随着林龄和郁闭度增加,地上部分的生长变慢,树木所需养分减少,地下碳分配也相应减少^[33];(2)年龄序列不同。本研究只选取了 20—46 年生的马尾松,未包括幼龄林在内;(3)3 个林分内立地条件及土壤养分存在差异,细根生物量的分布受到诸多因素的影响,在此不能只从林分年龄角度来进行分析,而就土壤环境和林分特征等多因素对细根生长的综合影响有待于更深一步的研究。

本文仅以 3 种林龄马尾松林为对象,研究了其林地土壤细根生物量的空间分布格局。但准确评价三峡库区马尾松土壤细根生物量及其动态特征,还应进一步从更广的角度来探讨各环境因子及林分特征与马尾松细根生长动态的关系,并继续进行马尾松细根生产和周转研究,使有关细根研究更加深入。

References:

- [1] Wang Z Q, Guo D L. Root ecology. *Journal of Plant Ecology*, 2008, 32(6): 1213-1216.
- [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 of the United States of America*, 1997, 94(14): 7362-7366.
- [3] Zhang X Q, Wu K H, Murach D. A review of methods for fine-root production and turnover of trees. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(5): 875-883.
- [4] Finér L, Ohashi M, Noguchi K, Hirano Y. Factors causing variation in fine root biomass in forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 2011, 261(2): 265-277.
- [5] Chen G S, He Z M, Xie J S, Yang Y S, Jiang Z K. Comparison on fine root production, distribution and turnover between plantations of *Fokienia hodginsii* and *Cunninghamia lanceolata*. *Scientia Silvae Sinicae*, 2004, 40(4): 15-21.
- [6] Li Z Y, Wang Y H, Yu P T, Zhang Z J, Du S C, He P, Wang X, Duan J, Li Z H. Soil chemical properties and growth characteristics of mixed plantation of *Pinus massoniana* and *Cinnamomum camphora* in the acid rain region of Chongqing, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(4): 387-395.
- [7] Wang S T, Han S J, Zhang J H, Wang C G, Xu Y, Li X F, Wang S Q. Woody plant fine root biomass and its spatial distribution in top soil of broad-leaved Korean pine forest in Changbai Mountain. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(3): 583-589.
- [8] Gan Z T, Zhou Z C, Liu W Z. Vertical distribution and seasonal dynamics of fine root parameters for apple trees of different ages on the Loess Plateau of China. *Agricultural Sciences in China*, 2010, 9(1): 46-55.
- [9] Persson H. Spatial distribution of fine-root growth, mortality and decomposition in a young Scots pine stand in Central Sweden. *Oikos*, 1980, 34(1): 77-87.
- [10] Chen G S, Yang Y S, He Z M, Xie J S, Gao R, Zeng H D. Effects of proximity of stems and tree diameters on fine root density in plantations. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(5): 1007-1011.

- [11] Yang X Y, Hang Y Z, Zhang Y X. Effects of horizontal distance on fine root biomass and seasonal dynamics in *Larix principis-rupprechtii* plantation. *Journal of Plant Ecology*, 2008, 32(6): 1277-1284.
- [12] O'Grady A P, Worledge D, Battaglia M. Temporal and spatial changes in fine root distributions in a young *Eucalyptus globulus* stand in southern Tasmania. *Forest Ecology and Management*, 2005, 214(1/3): 373-383.
- [13] Vamerali T, Guarise M, Ganis A, Zanetti F, Mosca G. Studying root distribution with geostatistics. *Plant Biosystems*, 2008, 142(2): 428-433.
- [14] Zhang W L, Liu J, Wang J Z, Chen F Q. Soil heterotrophic respiration and its temperature sensitivity in different-aged orange plantations in Three Gorges Reservoir area of China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(11): 1265-1273.
- [15] Xiao W F, Li J W, Yu C Q, Ma J, Chen R M, Liu S Y, Wang J X, Ge J W. Terrestrial Animal and Plant Ecology of the Three Gorges of Yangtze River. Chongqing: Southwest China Normal University Press, 2000: 320-321.
- [16] Norby R J, Jackson R B. Root dynamics and global change: seeking an ecosystem perspective. *New Phytologist*, 2000, 147(1): 3-12.
- [17] Yuan Z Y, Chen H Y H. Fine root biomass, production, turnover rates, and nutrient contents in boreal forest ecosystems in relation to species, climate, fertility, and stand age: literature review and meta-analyses. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2010, 29(4): 204-221.
- [18] Gill R A, Jackson R B. Global patterns of root turnover for terrestrial ecosystems. *New Phytologist*, 2000, 147(1): 13-31.
- [19] 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(2): 241-251.
- [20] Hao Y R, Peng S L. Variation of roots and its impact factors in succession. *Ecology and Environment*, 2005, 14(5): 762-767.
- [21] 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.
- [22] Luo D H, Xiao J, Yuan J W, Zhang Z H, Zhu J D, Ni J. Root biomass of karst vegetation in a mountainous area of southwestern China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(5): 611-618.
- [23] Nadelhoffer K J. The potential effects of nitrogen deposition on fine-root production in forest ecosystems. *New Phytologist*, 2000, 147(1): 131-139.
- [24] Quan W, Xu X, Wang F, Wang J S, Fang Y H, Ruan H H, Yu S Q. Fine root biomass and its morphological characteristics of different vegetations along an elevation gradient of Wuyi Mountains in southeastern China. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(7): 1095-1103.
- [25] Graefe S, Hertel D, Leuschner C. Fine root dynamics along a 2,000 m elevation transect in South Ecuadorian mountain rainforests. *Plant and Soil*, 2008, 313(1/2): 155-166.
- [26] Leuschner C, Moser G, Bertsch C, Röderstein M, Hertel D. Large altitudinal increase in tree root/shoot ratio in tropical mountain forests of Ecuador. *Basic and Applied Ecology*, 2007, 8(3): 219-230.
- [27] 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 *Larix gmelini* plantation. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(3): 403-410.
- [28] Kummerow J, Castellanos J, Maas M, Larigauderie A. Production of fine roots and the seasonality of their growth in a Mexican deciduous dry forest. *Plant Ecology*, 1990, 90(1): 73-80.
- [29] Duan W B, Li Y, Wang X M. Spatiotemporal distribution pattern of soil temperature in forest gap of *Pinus koraiensis*-dominated broadleaved mixed forest in Xiao Xing'an Mountains. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(10): 2357-2364.
- [30] Zhang X Q, Wu K H. Fine-root production and turnover for forest ecosystems. *Scientia Silvae Sinicae*, 2001, 37(3): 126-138.
- [31] Fan H B, Li Y Y, Su B Q, Lin D X, Liu C H, Jiang Z K. Allocation pattern of biomass and productivity in the mixed uneven-aged stands of Masson's pine and hardwood species. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(8): 2463-2473.
- [32] Andersen C P, Phillips D L, Rygielwicz P T, Storm M J. Fine root growth and mortality in different-aged ponderosa pine stands. *Canadian Journal of Forest Research*, 2008, 38(7): 1797-1806.
- [33] Chen G S, Yang Y S, Gao R, Xie J S, Yang Z J, Mao Y L. Changes in belowground carbon allocation in a Chinese fir chronosequence in Fujian Province, China. *Journal of Plant Ecology*, 2008, 32(6): 1285-1293.
- [34] Campbell J L, Sun O J, Law B E. Supply-side controls on soil respiration among Oregon forests. *Global Change Biology*, 2004, 10(11): 1857-1869.
- [35] Zhou Z X. Masson Pine in China. Beijing: Chinese Forestry Press, 2001: 68-72.

参考文献:

- [1] 王政权, 郭大立. 根系生态学. *植物生态学报*, 2008, 32(6): 1213-1216.
- [3] 张小全, 吴可红, Murach D. 树木细根生产与周转研究方法评述. *生态学报*, 2000, 20(5): 875-883.
- [5] 陈光水, 何宗明, 谢锦升, 杨玉盛, 蒋宗培. 福建柏和杉木人工林细根生产力、分布及周转的比较. *林业科学*, 2004, 40(4): 15-21.

- [6] 李志勇, 王彦辉, 于澎涛, 张治军, 杜士才, 何萍, 王祥, 段健, 李振华. 重庆酸雨区马尾松香樟混交林的土壤化学性质和林木生长特征. 植物生态学报, 2010, 34(4): 387-395.
- [7] 王树堂, 韩士杰, 张军辉, 王存国, 徐媛, 李雪峰, 王树起. 长白山阔叶红松林表层土壤木本植物细根生物量及其空间分布. 应用生态学报, 2010, 21(3): 583-589.
- [10] 陈光水, 杨玉盛, 何宗明, 谢锦升, 高人, 曾宏达. 树木位置和胸径对人工林细根水平分布的影响. 生态学报, 2005, 25(5): 1007-1011.
- [11] 杨秀云, 韩有志, 张芸香. 距树干不同距离处华北落叶松人工林细根生物量分布特征及季节变化. 植物生态学报, 2008, 32(6): 1277-1284.
- [14] 张文丽, 刘菊, 王建柱, 陈芳清. 三峡库区不同林龄人工橘林土壤异养呼吸及其温度敏感性. 植物生态学报, 2010, 34(11): 1265-1273.
- [15] 肖文发, 李建文, 于长青, 马娟, 程瑞梅, 刘少英, 王金锡, 葛继稳. 长江三峡库区陆生动植物生态. 重庆: 西南师范大学出版社, 2000: 320-321.
- [20] 郝艳茹, 彭少麟. 根系及其主要影响因子在森林演替过程中的变化. 生态环境, 2005, 14(5): 762-767.
- [22] 罗东辉, 夏婧, 袁婧薇, 张忠华, 祝介东, 倪健. 我国西南山地喀斯特植被的根系生物量初探. 植物生态学报, 2010, 34(5): 611-618.
- [24] 权伟, 徐侠, 王丰, 汪家社, 方燕鸿, 阮宏华, 余水强. 武夷山不同海拔高度植被细根生物量及形态特征. 生态学杂志, 2008, 27(7): 1095-1103.
- [27] 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.
- [29] 段文标, 李岩, 王小梅. 小兴安岭红松阔叶混交林林隙土壤温度的时空分布格局. 应用生态学报, 2009, 20(10): 2357-2364.
- [30] 张小全, 吴可红. 森林细根生产和周转研究. 林业科学, 2001, 37(3): 126-138.
- [31] 樊后保, 李燕燕, 苏兵强, 林德喜, 刘春华, 蒋宗垲. 马尾松-阔叶树混交异龄林生物量与生产力分配格局. 生态学报, 2006, 26(8): 2463-2473.
- [33] 陈光水, 杨玉盛, 高人, 谢锦升, 杨智杰, 毛艳玲. 杉木林年龄序列地下碳分配变化. 植物生态学报, 2008, 32(6): 1285-1293.
- [35] 周政贤. 中国马尾松. 北京: 中国林业出版社, 2001: 68-72.

CONTENTS

Behavioural time budgets and diurnal rhythms of the female Tibetan gazelles in the Kekexili National Nature Reserve	LIAN Xinming, LI Xiaoxiao, YAN Peishi, et al (663)
The relationship between the temporal-spatial distribution of fishing ground of yellowfin tuna (<i>Thunnus albacares</i>) and thermocline characteristics in the tropic Indian Ocean	YANG Shenglong, ZHANG Yu, ZHANG Heng, et al (671)
Characteristics of algous facies of planktonic algae in lake honghu and its response to habitat	LU Bilin, YAN Pingchuan, TIAN Xiaohai, et al (680)
Tide elevations for four mangrove species along western coast of Guangxi, China	LIU Liang, FAN Hangqing, LI Chungan (690)
Effects of CO ₂ -induced seawater acidification on photosynthesis and calcification in the coralline alga <i>Corallina pilulifera</i>	XU Zhiguang, LI Meizhen, HUO Chuanlin, et al (699)
Impacts of coverage and canopy water depth on the spectral characteristics for a submerged plant <i>Cabomba caroliniana</i>	ZOU Weina, YUAN Lin, ZHANG Liquan, et al (706)
Prioritizing biodiversity in conservation planning based on C-Plan; a case study from northeast China	LUAN Xiaofeng, SUN Gongqi, QU Yi, et al (715)
Effects of urbanization on indigenous plant diversity; a case study of Langfang City, China	PENG Yu, LIU Xuehua, XUE Dayuan, et al (723)
Using infra-red cameras to survey wildlife in Beijing Songshan National Nature Reserve	LIU Fang, LI Diqiang, WU Jigui (730)
Individual tree biomass model by tree origin, site classes and age groups	LI Haikui, NING Jinkui (740)
Population genetics of <i>Niviventer confucianus</i> and its relationships with habitat area in Thousand Island Lake region	LIU Jun, BAO Yixin, ZHANG Xu, et al (758)
Impacts of climate change on phenological phase of herb in the main grassland in Inner Mongolia	GU RunYuan, ZHOU Weican, BAI Meilan, et al (767)
Atmospheric nitrogen deposition in the glacier regions of Northwest China; a case study of Glacier No. 1 at the headwaters of Urumqi River, Tianshan Mountains	WANG Shengjie, ZHANG Mingjun, WANG Feiteng, et al (777)
Effects of vegetation type on arthropod functional groups in the aerial habitat of salt marsh	TONG Chunfu (786)
The plant community distribution and migration characteristics of heavy metals in tolerance dominant species in lead/zinc mine areas in Northwestern Guizhou Province	XING Dan, LIU Hongyan, YU Pingping, et al (796)
Sprouting characteristic in restoration ecosystems of monsoon evergreen broad-leaved forest in south-central of Yunnan Province	SU Jianrong, LIU Wande, ZHANG Zhijun, et al (805)
Distribution patterns and changes of aquatic communities in Lashihai Plateau Wetland after impoundment by damming	XIAO Derong, YUAN Hua, TIAN Kun, et al (815)
Spatial distribution of root biomass of <i>Pinus massoniana</i> plantation in Three Gorges Reservoir area, China	CHENG Ruimei, WANG Ruili, XIAO Wenfa, et al (823)
Differences in biomass, litter layer mass and SOC storage changing with tree growth in <i>Larix gmelinii</i> plantations in Northeast China	WANG Hongyan, WANG Wenjie, QIU Ling, et al (833)
Soil carbon sequestration rates and potential in the grazing grasslands of Inner Mongolia	HE Nianpeng, HAN Xingguo, YU Guirui (844)
Relationships between litter substrate quality and soil nutrients in different-aged <i>Pinus massoniana</i> stands	GE Xiaogai, XIAO Wenfa, ZENG Lixiong, et al (852)
Compare different effect of arbuscular mycorrhizal colonization on soil structure	PENG Sili, SHEN Hong, ZHANG Yuting, et al (863)
The infiltration process of clay soil under different initial soil water contents	LIU Muxing, NIE Yan, YU Jing (871)
Diurnal variations of the greenhouse gases emission and their optimal observation duration under different tillage systems	TIAN Shenzhong, NING Tangyuan, CHI Shuyun, et al (879)
Effects of exogenous pb and cu stress on eco-physiological characteristics on foxtail millet seedlings of different genotypes	XIAO Zhihua, ZHANG Yixian, ZHANG Xiwen, et al (889)
Combined effect of temperature and salinity on the Na ⁺ -K ⁺ -ATPase activity from the gill of GIFT tilapia juveniles (<i>Oreochromis niloticus</i>)	WANG Haizhen, WANG Hui, QIANG Jun, et al (898)
Pattern simulation of karst rocky desertification based on cellular automata	WANG Xiaoxue, LI Xuyong, WU Xiuqin (907)
The role of root border cells in protecting buckwheat root apices from aluminum toxicity and their effect on polysaccharide contents of root tip cell walls	CAI Miaozen, WANG Ning, WANG Zhiying, et al (915)
The suitable stand structure and hydrological effects of the cypress protection forests in the central Sichuan hilly region	GONG Gutang, LI Yanqiong, ZHU Zhifang, et al (923)
Comprehensive evaluation of agricultural water-saving technology based on AHP and Rough Set method	ZHAI Zhifen, WANG Lanying, SUN Minzhang, et al (931)
Analysis of the spatial expansion characteristics of major urban agglomerations in China using DMSP/OLS images	WANG Cuiping, WANG Haowei, LI Chunming, et al (942)
Evaluation of non-use value of ecotourism resources; a case study in Dalai Lake protected area of China	WANG Pengwei, JIA Jingbo (955)
Review and Monograph	
Assessment indicators system of forest ecosystem health based on the harmful disturbance	YUAN Fei, ZHANG Xinyao, LIANG Jun (964)
Role of silicon in regulating plant resistance to insect herbivores	HAN Yongqiang, WEI Chunguang, HOU Maolin (974)
Scientific Note	
Relationships among light conditions, crown structure and branch longevity: a case study in <i>Osmanthus fragrans</i> and <i>Metasequoia glyptostroboides</i>	ZHAN Feng, YANG Dongmei (984)
Effects of maize straw with Bt gene return to field on growth of wheat seedlings	CHEN Xiaowen, QI Xin, WANG Haiyong, et al (993)
Studies of non-structural carbohydrates of <i>Cupressus funebris</i> in different landslides after Wenchuan Earthquake	CHEN Bo, LI Zhihua, HE Qian, et al (999)

《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 3 期 (2012 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 3 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:100717	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