

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第1期 Vol.32 No.1 **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 1 期

2012 年 1 月 (半月刊)

目 次

局域种群的 Allee 效应和集合种群的同步性	刘志广, 赵 雪, 张丰盘, 等 (1)
叶片毛尖对齿肋赤藓结皮凝结水形成及蒸发的影响	陶 冶, 张元明 (7)
长江口锋面附近咸淡水混合对浮游植物生长影响的现场培养	王 奎, 陈建芳, 李宏亮, 等 (17)
河流流量对流域下垫面特性的响应	田 迪, 李叙勇, Donald E. Weller (27)
中国中东部平原亚热带湿润区湖泊营养物生态分区	柯新利, 刘 曼, 邓祥征 (38)
基于氮磷比解析太湖苕溪水体营养现状及应对策略	聂泽宇, 梁新强, 邢 波, 等 (48)
滇池外海蓝藻水华爆发反演及规律探讨	盛 虎, 郭怀成, 刘 慧, 等 (56)
采伐干扰对华北落叶松细根生物量空间异质性的影响	杨秀云, 韩有志, 张芸香, 等 (64)
松嫩草原榆树疏林对不同干扰的响应	刘 利, 王 赫, 林长存, 等 (74)
天山北坡不同海拔梯度山地草原生态系统地上净初级生产力对气候变化及放牧的响应	周德成, 罗格平, 韩其飞, 等 (81)
草原化荒漠草本植物对人工施加磷素的响应	苏洁琼, 李新荣, 冯 丽, 等 (93)
自然和人工管理驱动下盐城海滨湿地景观格局演变特征与空间差异	张华兵, 刘红玉, 郝敬锋, 等 (101)
晋、陕、宁、蒙柠条锦鸡儿群落物种多样性对放牧干扰和气象因子的响应	周 伶, 上官铁梁, 郭东罡, 等 (111)
华南地区 6 种阔叶幼苗叶片形态特征的季节变化	薛 立, 张 柔, 奚如春, 等 (123)
河西走廊不同红砂天然群体种子活性相关性	苏世平, 李 毅, 种培芳 (135)
江西中南部红壤丘陵区主要造林树种碳固定估算	吴 丹, 邵全琴, 李 佳, 等 (142)
酸雨和采食模拟胁迫下克隆整合对空心莲子草生长的影响	郭 伟, 李钧敏, 胡正华 (151)
棉铃虫在 4 个辣椒品种上的寄主适合度	贾月丽, 程晓东, 蔡永萍, 等 (159)
烟草叶面积指数的高光谱估算模型	张正杨, 马新明, 贾方方, 等 (168)
不同作物田烟粉虱发生的时空动态	崔洪莹, 戈 峰 (176)
长期施肥对稻田土壤固碳功能菌群落结构和数量的影响	袁红朝, 秦红灵, 刘守龙, 等 (183)
新银合欢篱对紫色土坡地土壤有机碳固持的作用	郭 甜, 何丙辉, 蒋先军, 等 (190)
一株产漆酶土壤真菌 F-5 的分离及土壤修复潜力	茆 婷, 潘 澄, 徐婷婷, 等 (198)
木论喀斯特自然保护区土壤微生物生物量的空间格局	刘 璐, 宋同清, 彭晚霞, 等 (207)
岷江干旱河谷 25 种植物一年生植株根系功能性状及相互关系	徐 琨, 李芳兰, 苟水燕, 等 (215)
黄土高原草地植被碳密度的空间分布特征	程积民, 程 杰, 杨晓梅, 等 (226)
棉铃发育期棉花源库活性对棉铃对位叶氮浓度的响应	高相彬, 王友华, 陈兵林, 等 (238)
耕作方式对紫色水稻土有机碳和微生物生物量碳的影响	李 辉, 张军科, 江长胜, 等 (247)
外源钙对黑藻抗镉胁迫能力的影响	闵海丽, 蔡三娟, 徐勤松, 等 (256)
强筋与弱筋小麦籽粒蛋白质组分与加工品质对灌浆期弱光的响应	李文阳, 闫素辉, 王振林 (265)
专论与综述	
蛋白质组学研究揭示的植物根盐胁迫响应机制	赵 琪, 戴绍军 (274)
流域生态风险评估研究进展	许 妍, 高俊峰, 赵家虎, 等 (284)
土壤和沉积物中黑碳的环境行为及效应研究进展	汪 青 (293)
研究简报	
青藏高原紫穗槐主要形态特征变异分析	梁坤伦, 姜文清, 周志宇, 等 (311)
菊属与蒿属植物苗期抗蚜虫性鉴定	孙 娅, 管志勇, 陈素梅, 等 (319)
滨海泥质盐碱地衬膜造林技术	景 峰, 朱金兆, 张学培, 等 (326)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 332 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 36 * 2012-01



封面图说: 白鹭展翅为梳妆, 玉树临风巧打扮——这是大白鹭繁殖期时的美丽体态。大白鹭体羽全白, 身长 94—104cm, 寿命 20 多年。是白鹭中体型最大的。繁殖期的大白鹭常常在湿地附近的大树上筑巢, 翩翩飞舞吸引异性, 其繁殖期背部披有蓑羽, 脸颊皮肤从黄色变成兰绿色, 嘴由黄色变成绿黑色。大白鹭是一个全世界都有它踪迹的广布种, 一般单独或成小群, 在湿地觅食, 以小鱼、虾、软体动物、甲壳动物、水生昆虫为主, 也食蛙、蝌蚪等。

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

DOI: 10.5846/stxb201005270808

杨秀云, 韩有志, 张芸香, 武小钢. 采伐干扰对华北落叶松细根生物量空间异质性的影响. 生态学报, 2012, 32(1): 0064-0073.

Yang X Y, Han Y Z, Zhang Y X, Wu X G. Effects of cutting disturbance on spatial heterogeneity of fine root biomass of *Larix principis-rupprechtii*. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(1): 0064-0073.

采伐干扰对华北落叶松细根生物量空间异质性的影响

杨秀云, 韩有志*, 张芸香, 武小钢

(山西农业大学林学院, 太谷 030801)

摘要:以华北落叶松天然林为研究对象, 选择采伐干扰林分(样地 A)和未采伐干扰林分(样地 B), 利用根钻法分 3 层(0—10cm, 10—20cm, 20—30cm)获取各径级细根($\leq 1\text{mm}$, 1—2mm, 2—5mm 级活细根, $\leq 2\text{mm}$ 死亡细根)生物量数据。采用地统计学变异函数和经典统计相结合的数据分析方法对采伐干扰造成的细根生物量空间异质性的变化进行定量研究。主要研究结果如下: 采伐干扰林分样地 A 各径级细根生物量均值减少; 同一土层相同径级细根生物量样地 A 与样地 B 相比差异显著($P < 0.05$); 不同土层的细根生物量异质性具有显著差别($P < 0.05$)。0—10cm 土层, 未采伐干扰林分 $\leq 1\text{mm}$ 细根生物量呈现较明显的空间自相关变异, 采伐干扰林分则表现为随机性变异特征, 采伐干扰导致 $\leq 1\text{mm}$ 细根生物量空间分布特征更加复杂(分维数 $D = 1.978$); 10—20cm 土层, 采伐干扰林分各径级细根生物量异质性程度明显降低, 只有未采伐干扰林分的 5.4%—88.9%。20—30cm 土层, 未采伐干扰林分 $\leq 1\text{mm}$ 细根生物量在较小尺度范围($< 2.9\text{m}$)表现出明显的空间自相关变异(结构方差比 86.1%), 受采伐干扰林分各径级细根生物量异质性程度只有未采伐干扰林分的 8.9%—45.9%, 且呈现随机性变异。各径级细根生物量空间异质性的垂直分异均表现为随土层深度的增加异质性强度明显降低。

关键词:华北落叶松; 采伐干扰; 细根生物量; 变异函数; 空间异质性

Effects of cutting disturbance on spatial heterogeneity of fine root biomass of *Larix principis-rupprechtii*

YANG Xiuyun, HAN Youzhi*, ZHANG Yunxiang, WU Xiaogang

Forestry College of Shanxi Agriculture University, Taigu 030801, China

Abstract: This study was conducted in *Larix principis-rupprechtii* forests, which located in Guandi Mountain, Shanxi Province, China. Two plots (32m×32m) were placed. Plot A was disturbed stand while plot B undisturbed. Basic data of fine root biomass with various diameters were collected from three depths (0—10cm, 10—20cm and 20—30cm) of soil layers via root drilling methods. The fine roots were separated into live and dead fine root ($\leq 2\text{mm}$). The live fine roots were classified into three categories ($\leq 1\text{mm}$, 1—2mm, 2—5mm). The spatial heterogeneity of fine root biomass was analyzed based on theory and methodology of spatial pattern analysis in geostatistics. By comparing the fine root biomass at same soil depth in different stand, fine root biomass was higher in undisturbed stand (plot B) with great difference, which also has high spatial heterogeneity. After cutting disturbance, fine root biomass became lower with smaller difference and the spatial heterogeneity intensity of fine root biomass became weaker. In different soil layer, the heterogeneity of fine root biomass changed significantly ($P < 0.05$). Results showed: (1) At 0—10cm soil depth, fine root ($\leq 1\text{mm}$, 1—2mm, 2—5mm and $\leq 2\text{mm}$ dead root) biomass decreased respectively 8.14%, 48.29%, 47.96% and 74.21%. Most variation of fine root biomass was spatially explained in undisturbed stand. Spatial heterogeneity of fine root biomass performed clearly

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30972349, 30670338); 山西省自然科学基金资助项目(2010021028-6); 山西农业大学引进人才科研基金项目(416568)

收稿日期: 2010-05-27; 修订日期: 2010-09-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hanyouzhi@sxau.edu.cn

randomly variation after disturbance. Spatial distribution of fine root ($\leq 1\text{mm}$) biomass became more complicated in disturbed stand. (2) At 10—20cm soil depth, fine root (1—2mm, 2—5mm and $\leq 2\text{mm}$ dead root) biomass decreased respectively 60.53%, 67.56%, 67.32%. Fine root biomass showed weaker spatial heterogeneity intensity in disturbed stand, which was only 5.4%—88.9% spatial heterogeneity in undisturbed stand. (3) At 20—30cm soil depth, fine root (1—2mm, 2—5mm and $\leq 2\text{mm}$ dead root) biomass decreased respectively 127.90%, 44.22%, 355.19%. In both plot A and B, fine biomass of all classes changed significantly ($P < 0.05$). Fine root biomass ($\leq 1\text{mm}$) remained mainly spatial autocorrelation variation, with structural variance proportion 86.1% at the range of 0.5—2.9m. After cutting disturbance, spatial heterogeneity became weaker and performed clearly randomly variation. Vertical differentiation appeared that spatial heterogeneity of fine root biomass decreased with the increasing of soil depths in two stands.

Key Words: *Larix principis-rupprechtii*; cutting disturbance; fine root biomass; semivariogram; spatial heterogeneity

随着全球碳循环研究的开展,作为森林生态系统中土壤碳的主要来源,细根的研究受到了广泛的关注^[1-2]。细根($\leq 2\text{mm}$)作为根系中最活跃的部分,参与森林生态系统的能量流动和物质循环过程^[1-3]。以往人们对于根系分布特征的研究很多,尤其是根系的垂直分布特征进行了大量的研究^[4-5],研究时常采用离树干特定距离处或随机取样的方法来进行取样,采样的理论基础是在郁闭的人工林中,邻近林木的根系相互交叉镶嵌,不同位置的细根可能趋于均质分布^[6-7]。但目前研究发现树干间细根生物量呈均匀分布的林分极少,根系除具有典型的垂直分布特性外,在水平分布上也不是均匀的,根系分布因植物种、生存环境和外界的干扰等因素的影响而改变,众多研究表明,不论是大尺度上还是小尺度上,地下根系生物量均表现为高度的空间异质性现象,即斑块性^[8-9]。地下根系分布的异质性,降低了对根系分布状况的可预知性,测定工作也较困难^[10]。根系在空间分布上的异质性和异质性的物候格局,使得根系能更加充分地利用空间异质性和时间异质性的营养资源^[11]。

林分被干扰后,在植被的演替和恢复过程中,植物群落组成、林分结构、土壤理化性质和养分含量都会发生相应的变化,细根生物量组成和空间分布也会随之改变,从而使土壤中碳贮量的分布发生相应变化^[12]。人类生活、经营等活动与植物群落联系越来越紧密,人为干扰作为最重要的干扰类型,使得干扰对植物的影响变得更加复杂和重要^[13]。以往研究多集中于干扰对植物群落组成、多样性、及林下环境条件变化的研究,对于林木细根生物量的影响研究报告较少^[12-13]。给予上考虑,本研究选取两块华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)林分样地进行对比研究(受采伐干扰林分样地 A 和未采伐干扰林分样地 B),利用地统计学区域化变量理论的格局分析方法,探讨采伐干扰对林木细根生物量分布格局的影响,为更深入了解华北落叶松地下生态学过程及为森林生态系统细根碳储量评估提供基础依据。

1 试验材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于山西省西部吕梁山脉中段的庞泉沟国家级自然保护区(111°21'—111°37'E, 37°45'—37°59'N)内。属受季风影响和控制的暖温带大陆性山地气候,年平均温度 3—4℃,1 月均温 -10.2℃,极端最低温 -29.17℃,7 月均温 17.5℃,极端最高温 38.5℃, $\geq 0^\circ\text{C}$ 积温为 2100℃。年均降水量 820mm,主要集中在夏季(6—8 月),年均相对湿度 70.9% 左右,年均蒸发量 1100—1500mm。无霜期年际变幅很大,平均为 100—130d;年日照时数 1900—2200h。土壤主要为山地棕壤。

研究样地位于关帝山八道沟内,1997 年在生长良好的华北落叶松天然林内设置两个样地,林分情况基本相同。于 1997 年 5 月采用人工间伐方式,间伐强度为 20%,以下称为样地 A;样地 B 为对照,未进行采伐干扰。经 10a 恢复,2007 年 7 月对样地立木分布情况(图 1)、林分基本情况(表 1)及林下灌草丛进行调查及根系取样试验。林下灌丛草本植物种类在样地 A 和 B 中基本相同,灌木种类主要有土庄绣线菊(*Spiraea pubescens*)、灰栒子(*Cotoneaster acutifolius*)、忍冬(*Loniscera* sp.)、荚蒾(*Viburnum schensianum*)、山刺玫(*Rosa*

davidii), 蔷薇 (*Rosa*)、矮卫茅 (*Euonymus nanus*)。草本植物种类主要有苔草 (*Carex* sp.)、糙苏 (*Phlomis umbrosa*)、鹿蹄草 (*Pyrola incarnata*)、舞鹤草 (*Maianthemum bifolium*)、铃兰 (*Convallaria umbrosa*)、草问津 (*Equisetum pratense*)、景天 (*Sedum*)、耧斗菜 (*Aquilegia*)、马先蒿 (*Pedicularis*)、蒿 (*Artemisia*)、早熟禾 (*Poa apinosum*) 等, 其中以禾本科草为主。

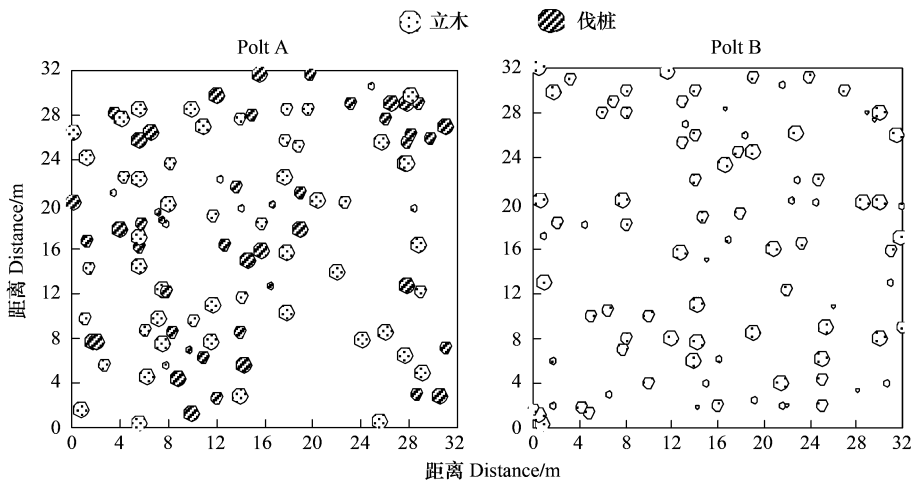


图 1 样地断面面积分布图

Fig. 1 The maps of basal area distribution in plots

表 1 样地基本情况

Table 1 Stand characteristics of *Larix* in plots

样地 Plot	林龄 Stand age/ a	胸径 DBH/cm	树高 Height/m	密度 Density /(个/hm ²)	坡度 Grade/(°)	坡向 Slope direction	坡位 Slope position	海拔 Altitude/m	枯枝落叶层厚度 Depth of litter /cm
A	50	23.5	22	507	25	东北	中	1822	2
B	50	17.9	24	751	30	东北	中上	1890	3

1.2 细根采集、分离及生物量测定

1.2.1 取样方法

取样方法采用地统计学理论和空间格局分析的小支撑、多样点的取样设计原则进行。首先将 32m×32m 的样地等距离间隔划分为 64 个 4m×4m 样方, 然后在样地对角线上选取 2 个 8m×8m 的小样方, 在其内设置 2m×2m, 1m×1m 和 0.5m×0.5m 格子样方, 在网格线的交叉点处取样, 样点总体布设见图 2, 共 179 个取样点。

按照图 2 所示在全部样点上用土钻取样, 土钻的内径为 7.0cm。取样深度为 0—30cm, 分别以 0—10cm, 10—20cm, 20—30cm 3 层进行。取样时, 先除去表层枯枝落叶。将取出的土壤样品装入塑料袋密封冷冻(0—4℃)保存, 取样后很快将细根分离出来进行测定。

1.2.2 细根的分离、鉴定和生物量测定

在实验室内把土样用水泡软后, 倒入筛孔为 40 目的筛网, 用水冲洗, 重复几次, 将洗净后的根放入玻璃皿, 注入少量蒸馏水, 分检出华北落叶松根系。根据细根的颜色、外形、弹性、根皮与中柱分离的难易程度区分活根和死根。根系分级标准: ≤1mm、1—2mm、2—5mm 活细根及 ≤2mm 死亡细根。分检好的各级细根在

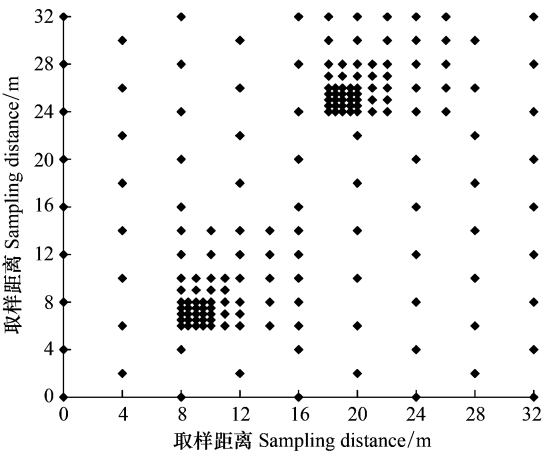


图 2 空间取样设计

Fig. 2 Spatial sampling design

80℃烘干至恒重(24h),用电子天平称重(精确到0.001g),据此计算细根生物量:

$$\text{细根生物量}(\text{g}/\text{m}^2) = \text{平均每个土芯根干重}(\text{g}) / [\pi(\Phi/2)^2 \times (\text{m}^2/10^4 \text{cm}^2)] \quad (\Phi=7.0\text{cm})$$

1.3 数据处理

1.3.1 经典统计分析

用 SPSS for windows 12.0 统计软件进行华北落叶松细根生物量平均数、标准差、变异系数的分析。用单因素方差分析(One way ANOVA)检验不同样地同一土层和同一样地不同土层细根生物量的差异。

1.3.2 异常值的识别、处理和原始数据的正态检验和转换

异常值(outlier)的判断和处理采用的方法是域法识别,即样本平均值($\bar{a}$)加减3倍的标准差(s),在区间($\bar{a} \pm 3s$)以外的数据为特异值,而后分别用正常的最大值或最小值来代替。用柯尔莫哥洛夫-斯米诺夫(Kolonogorov-Semirnov($K-S$))正态性检验方法检验细根生物量正态分布,符合正态分布的数据直接进行地统计学分析($P(K-S) > 0.05$);不符合正态分布的数据会导致变异的波动大,降低估计的精度,使得某些潜在的特征不明显^[14],因此对不符合正态分布的数据,经过对数转换或方根转换后再进行地统计学分析。

1.3.3 细根生物量的地统计学分析

地统计学分析用 GS+Win5.0 软件进行。变异函数用 $r(h)$ 来表示,为区域化变量 $Z(x_i)$ 和 $Z(x_i+h)$ 增量平方的数学期望,即区域化变量的方差。其通式为:

$$r(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [(Z(x_i) - Z(x_i + h))]^2$$

式中, $r(h)$ 为变异函数; h 为步长,即为减少各样点组合对的空间距离个数而对其进行分类的样点空间间隔距离; $N(h)$ 为距离为 h 的点对的数量; $Z(x_i)$ 和 $Z(x_i+h)$ 分别为变量 Z 在空间位置 x_i 和 x_i+h 的取值。

计算细根生物量的变异值并拟合理论模型,理论模型参数基台值(Sill, C_0+C)表示变量的最大变异程度,它的值越大表示变量的异质性程度越高。而块金值 C_0 是空间距离为零时变异值,表示随机部分的空间变异性,较大的块金值表明较小的尺度上某种生态学过程不容忽视。结构方差(Spatially structure variance, C)与基台值之比 $C/(C_0+C)$ 可度量空间自相关的变异所占的比例,而块金值(Nugget, C_0)与基台值之比 $C_0/(C_0+C)$ 可用于估计随机因素在所研究的空间异质性中的相对重要性。变程(Range, A)表示研究变量空间变异中空间自相关变异的尺度范围,在变程内,空间越靠近的点之间其相关性越大,距离大于变程的点之间不具备自相关性。对于决定系数 R^2 多大,回归模型才有价值,则需要进行 R^2 的 F 检验。

分维数可对不同变量之间的空间自相关强度进行比较,求算分形维数所采取的方法是在双对数坐标下进行线形回归,所得拟合直线的斜率为分维数值:

$$2\gamma(h) = h^{(4-2D)}$$

2 结果与分析

2.1 林分细根生物量的描述统计分析

由细根生物量的统计值可见(表2),0—10cm 土层,在不考虑空间位置和取样间隔的情况下,各径级($\leq 1\text{mm}$ 、1—2mm、2—5mm 活细根和 $\leq 2\text{mm}$ 死亡细根)细根生物量在样地 A 和样地 B 均表现出较大变异($C_v > 57\%$)。采伐干扰林分样地 A 各径级细根生物量均值减少,分别比样地 B 减少了 8.14%、48.29%、47.96%、74.21%。样地 B 中 $\leq 1\text{mm}$ 、1—2mm、2—5mm 活细根和 $\leq 2\text{mm}$ 死亡细根各径级细根生物量的波动幅度分别为 0—597.95、0—227.74、0—671.26g/m² 和 0—177.56g/m²,均大于样地 A。方差分析结果表明,0—10cm 土层相同径级细根生物量样地 A 与样地 B 相比差异显著($P < 0.05$)。

10—20cm 土层,各径级细根生物量样地 A 和样地 B 异质性现象明显($C_v > 77\%$)。 $\leq 1\text{mm}$ 细根生物量在采伐干扰样地 A 略有增加(4.34%);样地 A、1—2、2—5mm 活细根和 $\leq 2\text{mm}$ 死亡细根生物量分别比样地 B 减少了 60.53%、67.56%、67.32%。各径级细根生物量的波动幅度在样地 B 中分别为 0—196.66g/m²、0—161.70g/m²、0—640.06g/m² 和 0—210.32g/m²,均大于样地 A。 $\leq 1\text{mm}$ 活细根生物量样地 A 与样地 B 差异不显著($P > 0.05$);1—2mm、2—5mm 活细根和 $\leq 2\text{mm}$ 死亡细根生物量样地 A 与样地 B 相比差异显著($P <$

0.05)。

20—30cm 土层,各径级细根生物量样地 A 和样地 B 中表现明显异质现象($C_v > 84\%$)。 $\leq 1\text{mm}$ 细根生物量在采伐干扰林分样地 A 比样地 B 增加了 88.18%,其余各径级细根生物量样地 A 比样地 B 分别减少了 127.90%、44.22% 和 355.19%。样地 B 各径级细根生物量的波动幅度(0—231.38g/m²、0—163.26g/m²、0—840.76g/m²和 0—62.64g/m²)均大于样地 A。相同径级细根生物量在样地 A 和 B 中差异显著($P < 0.05$)。

表 2 细根生物量的描述统计分析

Table 2 Descriptive statistics of fine root biomass at different soil depths

土层 Soil depth/cm	样地 Plot	根系径级 Fine root class/mm	平均数 Mean	中位数 Median	标准差 Std. deviation	变异系数 Cv/%	最小值 Min	最大值 Max	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	K-S
0—10	A	≤ 1	186.42	173.69	113.85	61	0.00	538.31	0.36	0.19	1.48
		1—2	38.93	37.96	25.55	66	0.00	104.25	0.50	0.17	1.80
		2—5	63.23	50.70	62.12	98	0.00	275.06	1.20	1.36	11.97
		$\leq 2\text{dr}$	15.53	10.79	16.03	103	0.00	71.75	1.07	0.68	10.50
	B	≤ 1	202.93	184.58	115.45	57	0.00	597.95	0.92	1.18	5.29
		1—2	75.29	66.03	47.50	63	0.00	227.74	0.87	0.81	0.76
		2—5	121.51	83.71	126.85	104	0.00	671.26	1.40	2.48	9.43
		$\leq 2\text{dr}$	60.22	56.41	36.41	60	0.00	177.56	0.76	0.65	0.87
10—20	A	≤ 1	53.16	42.65	43.03	81	0.00	191.59	1.24	1.37	1.51
		1—2	17.84	10.72	20.18	113	0.00	90.21	1.45	1.47	4.81
		2—5	39.08	23.66	46.25	118	0.00	188.48	1.09	0.54	32.13
		$\leq 2\text{dr}$	8.94	0.00	5.05	172	0.00	35.88	2.59	10.31	65.32
	B	≤ 1	50.95	40.56	45.67	90	0.00	196.66	1.14	0.55	1.81
		1—2	45.20	37.96	34.74	77	0.00	161.70	0.72	0.05	3.24
		2—5	120.46	77.47	142.02	118	0.00	640.06	1.55	2.09	17.59
		$\leq 2\text{dr}$	27.36	21.19	23.34	85	0.00	210.32	3.59	22.54	0.92
20—30	A	≤ 1	28.59	20.11	30.15	105	0.00	186.29	2.27	6.97	1.37
		1—2	10.60	3.90	17.10	161	0.00	133.63	3.60	18.57	8.77
		2—5	27.89	0.00	45.02	161	0.00	359.29	3.06	16.14	48.32
		$\leq 2\text{dr}$	3.95	0.00	13.55	92	0.00	53.39	8.21	84.55	80.79
	B	≤ 1	13.70	6.24	22.93	167	0.00	231.38	5.36	45.42	17.65
		1—2	20.14	4.16	29.02	144	0.00	163.26	1.83	3.75	43.40
		2—5	68.73	0.00	140.21	204	0.00	840.76	3.02	10.55	72.70
		$\leq 2\text{dr}$	11.47	8.58	9.63	84	0.00	62.64	1.12	0.81	2.43

2.2 林分细根生物量垂直分布特征

研究结果表明,各径级细根生物量在 2 个样地内,细根生物量的垂直分布表现不同特征(图 3)。样地 B, $\leq 1\text{mm}$ 细根生物量在各土层(0—10、10—20cm 和 20—30cm)所占的比例分别为 75.84%、19.04%、5.12%;样地 A 分别为 68.82%、20.28%、10.91%。1—2mm 细根生物量样地 B 各土层所占比例分别为 53.54%、32.14%、14.32%;样地 A 分别为 57.79%、26.48%、15.73%。样地 B,2—5mm 较粗细根生物量各土层所占比例分别为 39.11%、38.77%、22.12%;样地 A 分别为 48.56%、30.02%、21.42%。 $\leq 2\text{mm}$ 死亡细根生物量样地 B 在各土层所占比例分别为 60.80%、27.62%、11.58%;样地 A 分别为 54.64%、31.46%、13.90%。总体分析表明,采伐干扰降低了 $\leq 1\text{mm}$ 活细根和 $\leq 2\text{mm}$ 死亡细根在土壤 0—10cm 土层的含量,增加了其在土壤 10—30cm 土层的分布;而采伐干扰增加了 1—2mm 和 2—5mm 细根生物量在土壤表层(0—10cm)的相对分布。

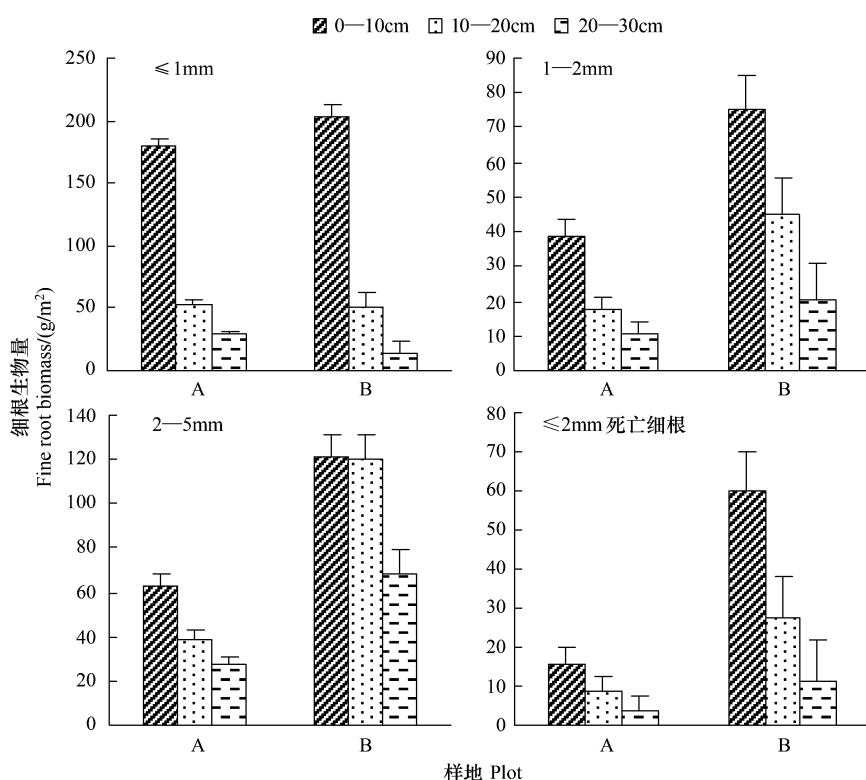


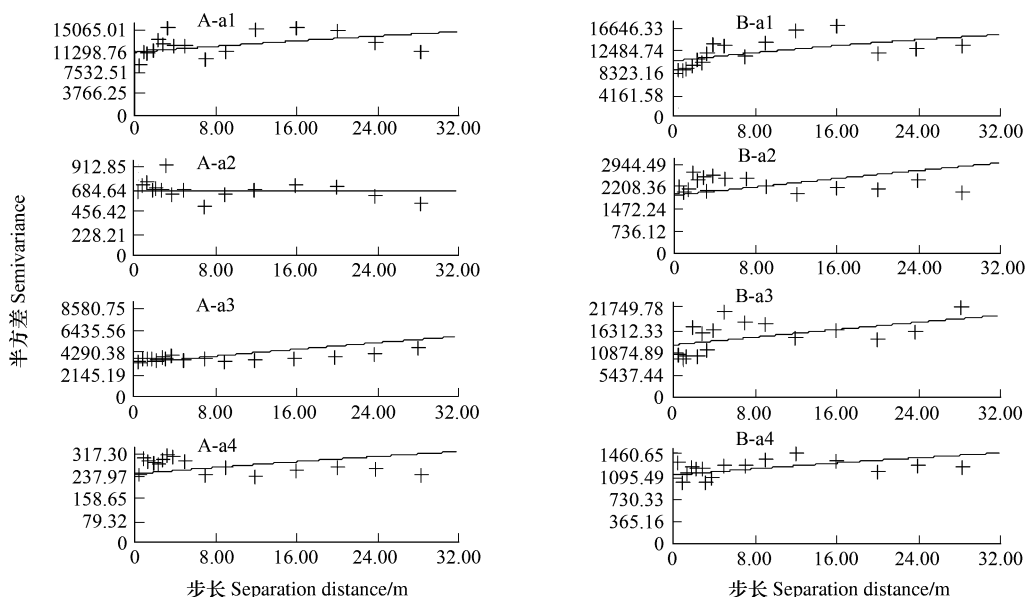
图3 林分细根生物量的垂直分布特征

Fig.3 Depth distribution patterns of fine root biomass in different plots

2.3 林分细根生物量的变异函数分析

使用柯尔莫哥洛夫-斯米诺夫 (Kolmogorov-Smirnov ($K-S$)) 正态性检验方法对所测定根系的检验结果表明,所有径级细根生物量均符合正态分布特征(表2),可以直接进行地统计学分析。

对华北落叶松各径级细根生物量采用间隔步长分别为 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0、3.5、4.0、6.0、8.0、10.0、14.0、18.0、24.0、28.0、32.0m,进行华北落叶松细根生物量的变异函数分析结果表明,不同径级细根生物量的变异值,在最大间隔距离 32.0m 的范围内,样地 A 和样地 B 各径级细根生物量存在空间异质性现象,符合指数模型或球状模型的变化趋势(图4)。



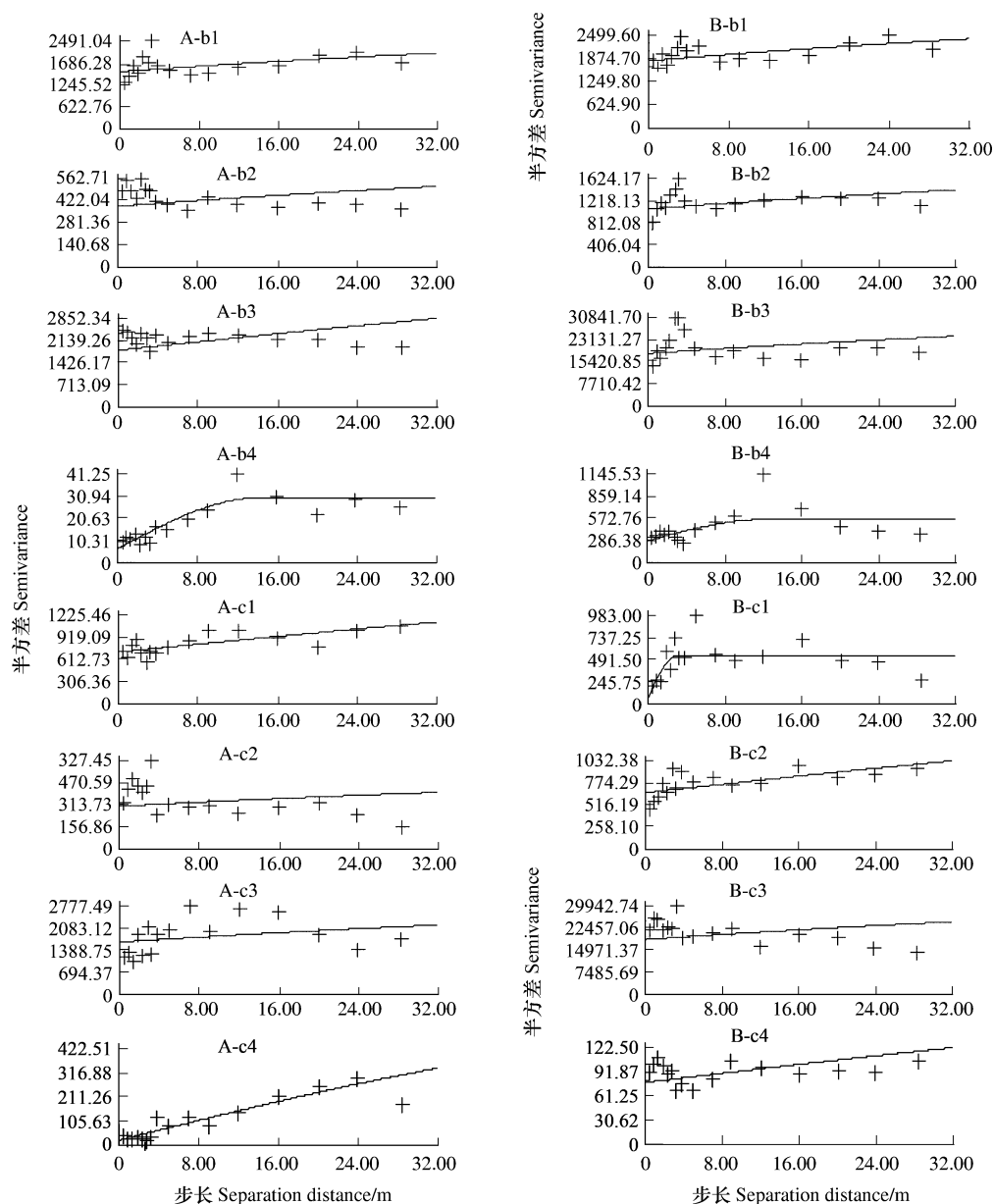


图4 细根生物量的变异函数图

Fig. 4 Semivariograms for fine root biomass at 0–30 cm soil depth

A、B 分别代表样地 A 和样地 B; a、b、c 分别表示 0—10 cm、10—20 cm、20—30 cm 土层; 1、2、3、4 分别表示 ≤ 1 mm、1—2 mm、2—5 mm 活细根和 ≤ 2 mm 死亡细根

0—10 cm 土层, ≤ 1 mm 细根生物量在样地 A 和样地 B 中均表现出明显的空间变异, 异质性强度接近 (样地 A, $C_0 + C = 21630.0$; 样地 B, $C_0 + C = 20190.0$)。1—2 mm、2—5 mm 活细根和 ≤ 2 mm 死亡细根生物量的基台值, 样地 A (1098.1、7649.0、478.5) 均小于样地 B (3771.0、25170.0、1959.0) (表 3), 总体看来, 未受采伐干扰林分 (样地 B) 的空间异质性大于采伐干扰林分 (样地 A)。样地 B 呈现较明显的空间自相关变异, 而样地 A 则表现为随机性变异特征, 采伐干扰导致林分 ≤ 1 mm 细根生物量空间分布发生了改变, 使异质性特征更加复杂 (分维数 $D = 1.978$)。1—2 mm、2—5 mm 活细根和 ≤ 2 mm 死亡细根生物量的空间变异相似, 均在样地 B 中呈现较强的异质性, 而采伐干扰林分样地 A 各径级细根生物量异质性程度降低, 分别为样地 B 的 29%、30% 和 24%。

10—20 cm 土层, 样地 B 各径级细根生物量均呈现较强的异质性; 采伐干扰林分 (样地 A), 各径级细根生

物量异质性程度明显降低,其中 $\leq 1\text{mm}$ 细根生物量异质性程度是前者的88.9%,其它各级根系生物量异质性程度只有前者10.6%—36.3%。 $\leq 2\text{mm}$ 死亡细根生物量变异特征为,样地B表现出中等程度的空间自相关变异(结构方差比25%—75%);采伐干扰后,异质性程度极度降低,只有未采伐干扰林分的5.4%,在较小尺度($<14.3\text{m}$)范围表现为明显的空间自相关变异(结构方差比 $>75\%$)。

表3 细根生物量变异函数理论模型参数

Table 3 Parameters of semivariogram models for fine root biomass at different soil depths

土层 Soil depth/cm	根系径级 Fine root class/mm	样地 Plot	变异模型 Variogram model	块金值 Nugget (C_0)	基台值 Sill (C_0+C)	结构方差比 (C/C_0+C)	变程 Range (a_0)	分维数 (D)	决定系数 (R^2)	F
0—10	≤ 1	A	Exponential	10810.0	21630.0	0.50	81.0	1.978	0.012	1.05
		B	Exponential	10090.0	20190.0	0.50	48.9	1.934	0.363	49.95 **
	1—2	A	Spherical	549.0	1098.1	0.50	81.0	1.966	0.318	39.94 **
		B	Spherical	1885.0	3771.0	0.50	81.0	1.987	0.224	25.30 **
	2—5	A	Spherical	3160.0	7649.0	0.59	81.0	1.955	0.464	75.88 **
		B	Spherical	12580.0	25170.0	0.50	81.0	1.934	0.179	19.11 **
	≤ 2 死亡细根	A	Exponential	239.2	478.5	0.50	81.0	1.981	0.408	60.07 **
		B	Exponential	979.0	1959.0	0.50	81.0	1.956	0.422	11.95 **
	≤ 1	A	Exponential	1607.0	3215.0	0.50	81.00	1.974	0.078	7.33 *
		B	Exponential	1807.0	3615.0	0.50	81.00	1.984	0.046	4.23
10—20	1—2	A	Exponential	388.0	776.1	0.50	81.00	1.941	0.615	27.62 **
		B	Exponential	1067.0	2135.0	0.50	81.00	1.995	0.038	3.46
	2—5	A	Spherical	1826.0	3653.0	0.50	81.00	1.975	0.389	14.53 **
		B	Spherical	17290.0	34590.0	0.50	81.00	1.990	0.104	10.17 **
	≤ 2 死亡细根	A	Spherical	6.4	30.2	0.79	14.33	1.827	0.790	27.79 **
		B	Spherical	278.4	557.8	0.50	12.20	1.957	0.215	23.32 **
	≤ 1	A	Spherical	717.0	1436.0	0.50	78.53	1.942	0.645	39.27 **
		B	Spherical	74.0	534.1	0.86	2.98	1.968	0.277	13.58 **
	1—2	A	Exponential	303.7	607.5	0.50	81.00	1.878	0.556	26.77 **
		B	Spherical	661.0	1322.1	0.50	81.00	1.940	0.295	21.68 **
20—30	2—5	A	Exponential	1640.0	3281.0	0.50	81.00	1.933	0.086	8.25 *
		B	Exponential	18500.0	37010.0	0.50	81.00	1.929	0.671	32.78 **
	≤ 2 死亡细根	A	Spherical	23.0	456.9	0.95	60.11	1.671	0.852	41.64 **
		B	Spherical	78.4	156.9	0.50	81.00	1.992	0.126	11.41 **

20—30cm 土层,样地B, $\leq 1\text{mm}$ 细根生物量在较小尺度范围($<2.9\text{m}$)表现出明显的空间自相关变异(结构方差比=86.1%),其他径级细根生物量呈现中等的空间自相关变异。受采伐干扰林分(样地A),除 $\leq 1\text{mm}$ 细根生物量有较强的异质性外,其他径级细根生物量异质性程度明显降低,只有未砍伐林分的8.9%—45.9%。 $\leq 2\text{mm}$ 死亡细根生物量,在样地B呈现随机性变异,而受采伐干扰林分(样地A)呈现明显的空间自相关变异特征。

3 讨论

3.1 采伐对细根生物量及其垂直分布的影响

林木细根生物量及空间分布除与生长季节、生长发育阶段、土壤类型和立地条件等有关外,还受树木体内碳源-碳汇分配关系的控制,涉及到地上净同化量、根系生长和维持所需的碳水化合物量及根系生长的微环境因子,包括土壤养分、水分、温度、菌根等其它因子^[15]。以往根系分布的研究主要解决自然环境因素对细根分布造成的影响,人为采伐干扰对林木细根生物量分布的影响有多大,通过干扰什么因子来间接地干扰林地

下生物量,由于试验和分析的难度都很大,目前这方面的研究报道很少^[13, 16]。Berish 等研究表明在采伐初期细根生物量增加最快,主要与采伐地上灌木和草本迅速生长或林分萌芽有关^[17]。细根生物量通常在林分郁闭后趋于稳定,在贫瘠立地上,细根生物量郁闭后维持较高的生物量;而在良好立地上,细根生物量郁闭后保持较低水平^[15, 18]。树木细根的垂直分布与树种、年龄、土壤水分、养分及地下水位等有关,主要是由于土壤资源有效性在空间分布上的差异及外界环境条件的不同所造成的^[19-21]。Pregitzer 等认为表层土壤的温度较高是表层细根分布较多的原因^[12]。本研究表明,在采伐干扰林分样地中,各径级细根生物量保持较低水平,且采伐干扰降低了 $\leq 1\text{mm}$ 细根和 $\leq 2\text{mm}$ 死亡细根在土壤 0—10cm 土层的含量,使得细根更多的分布于土壤深层。林分受到采伐干扰后,造成林冠面积的减少,林木地上光合有效面积减少,是造成林木地下根系生物量减少的直接原因;同时林分采伐后,林下环境发生变化,如光辐射增强,林地温度升高,枯枝落叶的快速分解,改变了土壤的理化性质,这些都会影响到细根生物量及其垂直分布。

3.2 采伐对细根生物量空间异质性的影响

地下根系均表现为高度的空间异质性现象,在空间上的表现形式为斑块状态,不是均匀或随机分布,在森林生态系统中,根系的斑块分布特征则更加明显^[8-9, 22]。本研究表明,华北落叶松林细根生物量存在异质性现象,空间自相关程度中等(C/C_0+C 在 25%—75% 之间),与水曲柳细根的研究结果相一致^[20]。已有研究表明采伐干扰对林下土壤水分、温度等有效资源的空间异质性产生影响,细根会通过形态可塑性(在富养斑块上增生)、生理可塑性及菌根等方式对异质性的资源产生响应,根系生物量的空间分布在一定程度上能反映土壤有效资源的异质性特征^[12, 23]。本研究采伐干扰导致华北落叶松各径级细根生物量的空间异质性程度降低及随土层深度的增加异质性强度明显降低是细根对土壤异质性的响应。

变异尺度(变程)能直接反应空间自相关范围的大小,孙志虎等对落叶松(*Larix olgensis*)人工纯林表层细根($\leq 2\text{mm}$)生物量的地统计学分析表明,在东经 130°40′,北纬 46°21′区域,落叶松细根生物量的空间变异尺度随林龄的增长,落叶松纯林表层细根空间变异尺度近似呈直线增长,自相关尺度均属中等以上,40a 生空间变异尺度为 5.58m;长白山原始阔叶红松林活细根生物量的变程在 5—15m;对水曲柳人工纯林的研究表明,细根生物量空间格局明显,空间变异尺度为 61m;均小于本实验所测样地表层细根生物量的变异尺度^[8, 17, 20, 24]。研究还表明华北落叶松各径级细根生物量在 0—30cm 土层范围内,空间自相关范围各不同,且采伐干扰对细根生物量的空间自相关尺度产生一定的影响,表现为 $\leq 1\text{mm}$ 活细根和 $\leq 2\text{mm}$ 死亡细根生物量采伐干扰后空间自相关尺度增加。进一步说明,林木细根生物量变异尺度的大小与不同林型、林龄、立地营养条件、干扰、取样方法等均有很大关系。

4 结论

华北落叶松相同径级细根生物量样地 A 和样地 B 相比差异显著($P < 0.05$),采伐干扰导致各径级细根生物量均值减少,波动范围变窄。采伐干扰造成各径级细根生物量在垂直方向的相对含量发生变化。

细根生物量各向同性的变异函数分析结果表明,各径级细根生物量在不同林分均符合指数模型或球状模型的变化趋势。各径级细根生物量在未采伐干扰林分(样地 B)内表现强的空间异质性特征,而受采伐干扰样地,细根生物量的空间异质性强度明显降低,随机性变异增强,在土壤表层的空间分布格局变的复杂;空间变异尺度在两个样地中有较大差别。

References:

- [1] Schlesinger W H. Carbon sequestration in soils. *Science*, 1999, 284: 2095-2112.
- [2] Morgan J A. Looking Beneath the surface. *Science*, 2002, 298: 1903-1904.
- [3] Santantnio D, Grace J C. Estimating fine-root production turnover from biomass and decomposition data: a compartment-flow model. *Canadian Journal of Forestry Research*, 1987, 17: 900-908.
- [4] Zhang L Z, Cao W X, Zhang S P, Zhou Z G. Characterizing root growth and spatial distribution in cotton. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29 (2): 266-273.
- [5] 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.
- [6] Yang L W, Luo T X, Wu S T. Fine root biomass and its depth distribution across the primitive *Korean pine* and broad-leaved forest and its secondary forests in Changbai Mountain, northeast China, Acta Ecologica Sinica, 2007,17(9):3609-3617.
- [7] Gan Z T, Liu W Z. Distribution of the fine roots of different aged apple trees in Weibei rainfed tableland of the *Loess Plateau*. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(7):3401-3407.
- [8] Sun Z H, Mu C C, Sun L. The estimate of fine root biomass in upper soil layer of *Larix Olgensis* plantation by geostatistics method. Acta Phytoecologica Sinica, 2006,30(5):771-779.
- [9] 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.
- [10] Rose MR. Biomass production and allocation, including fine-root turnover, and annual N uptake in lysimeter-grown basket willows. Forest Ecology and Management, 2001, 140:177-192.
- [11] Goovaerts P. Geostatistics for Natural Resource Evaluation. New York: Oxford University Press, 1997.
- [12] Gu J C, Wang Z Q, Han Y Z, Wang X R, Mei L, Zhang X J, Cheng Y H. Effects of cutting intensity on spatial heterogeneity of topsoil temperature in secondary forest in Maershan region of Heilongjiang Province. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006,17(12):2248-2254.
- [13] Mao Z H, Zhu J J. Effects of disturbances on species composition and diversity of plant communities. Acta Ecologica Sinica, 2006,26(8):2695-2701.
- [14] Wang Z Q. Geostatistics and Application in Ecology. Beijing: Science Press,1999.
- [15] Zhang X Q, Wu K H. Fine root production and turnover for forest ecosystems. Scientia Silvae Sinicae,2001,37(3):126-138.
- [16] Lu J G, Wang H T, He X D, Gao Y B. Responses of *Artemisia ordosica* population to soil moisture spatial heterogeneity on semi-fixed dune of Mu Us sandy land. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(8):1469-1474.
- [17] Berish C W, Ewel J J. Root development in simple and complex tropical successional ecosystems. Plant and Soil, 1988,12:699-704.
- [18] Vogt K A, Vogt D J, Edmonds R L. Effects of stand development and site quality on the amount of fine root growth occurring in the forest floors of Douglas fir stand // Root Ecology and its Practical Application. Int. Symp. Gumpenstein, 1982. Irdning: Bundesanstalt Gumpenstein, 1983: 585-594.
- [19] Xue J H, Wang Z, Lu X S. Progress on the interaction between tree roots and soil environment. Journal of Nanjing Forestry University, 2002, 26(3):79-84.
- [20] Sun Z H, Wang Q C. The estimate of root biomass in upper soil layer of *Fraxinus mandshurica* plantation by geostatistics method. Acta Ecologica Sinica, 2005,25(4):923-930.
- [21] 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 Phytoecologica Sinica, 2005,29(3):403-410.
- [22] Steinaker D F, Wilson S D. Belowground litter contributions to nitrogen cycling at a northern grass-land-forest boundary. Ecology, 2005, 86: 2825-2833.
- [23] Wang Q C, Cheng Y H. Response of fine roots to soil nutrient spatial heterogeneity. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004,15(6):1063-1068.
- [24] 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.

参考文献:

- [4] 张立桢,曹卫星,张思平,周治国. 棉花根系生长和空间分布特征. 植物生态学报,2005,29(2):266-273.
- [5] 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.
- [6] 杨丽韞,罗天祥,吴松涛. 长白山原始阔叶红松林及其次生林细根生物量与垂直分布特征. 生态学报,2007,17(9):3609-3617.
- [7] 甘卓亭,刘文兆. 渭北旱塬不同龄苹果细根空间分布特征. 生态学报,2008,28(7):3401-3407.
- [8] 孙志虎,牟长城,孙龙. 采用地统计学方法对落叶松人工纯林表层细根生物量的估计. 植物生态学报,2006,30(5):771-779.
- [9] 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.
- [12] 谷加存,王政权,韩有志,王向荣,梅莉,张秀娟,程云环. 采伐干扰对帽儿山地区天然次生林土壤表层温度空间异质性的影响. 应用生态学报,2006,17(12):2248-2254.
- [13] 毛志宏,朱教君. 干扰对植物群落物种组成及多样性的影响. 生态学报,2006,26(8):2695-2701.
- [14] 王政权. 地统计学在生态学中的应用. 北京:科学出版社,1999.
- [15] 张小全,吴可红. 森林细根生产与周转研究. 林业科学, 200137(3):126-138.
- [16] 卢建国,王海涛,何兴东,高玉葆. 毛乌素沙地半固定沙丘油蒿种群对土壤湿度空间异质性的响应. 应用生态学报,2006,17(8):1469-1474.
- [19] 薛建辉,王智,吕祥生. 林木根系与土壤环境相互作用机制研究进展. 南京林业大学学报,2002,26(3):79-84.
- [20] 孙志虎,王庆成. 采用地统计学方法对水曲柳人工纯林表层根量的估计. 生态学报,2005,25(4):923-930.
- [21] 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.
- [23] 王庆成,程云环. 土壤养分空间异质性与根系的觅食反应. 应用生态学报,2004,15(6):1063-1068.
- [24] 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.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.32 ,No.1 January ,2012(Semimonthly)

CONTENTS

Allee effects of local populations and the synchrony of metapopulation	LIU Zhiguang, ZHAO Xue, ZHANG Fengpan, et al (1)
Effects of leaf hair points on dew deposition and rainfall evaporation rates in moss crusts dominated by <i>Syntrichia caninervis</i> , Gurbantunggut Desert, northwestern China	TAO Ye, ZHANG Yuanming (7)
The influence of freshwater-saline water mixing on phytoplankton growth in Changjiang Estuary	WANG Kui, CHEN Jianfang, LI Hongliang, et al (17)
The responses of hydrological indicators to watershed characteristics	TIAN Di, LI Xuyong, Donald E. Weller (27)
Lake nutrient ecosystems in the east-central moist subtropical plain of China	KE Xinli, LIU Man, DENG Xiangzheng (38)
The current water trophic status in Tiaoxi River of Taihu Lake watershed and corresponding coping strategy based on N/P ratio analysis	NIE Zeyu, LIANG Xinqiang, XING Bo, et al (48)
Reversion and analysis on cyanobacteria bloom in Waihai of Lake Dianchi	SHENG Hu, GUO Huaicheng, LIU Hui, et al (56)
Effects of cutting disturbance on spatial heterogeneity of fine root biomass of <i>Larix principis-rupprechtii</i>	YANG Xiuyun, HAN Youzhi, ZHANG Yunxiang, et al (64)
Responses of elm (<i>Ulmus pumila</i>) woodland to different disturbances in northeastern China	LIU Li, WANG He, LIN Changcun, et al (74)
Impacts of grazing and climate change on the aboveground net primary productivity of mountainous grassland ecosystems along altitudinal gradients over the Northern Tianshan Mountains, China	ZHOU Decheng, LUO Geping, HAN Qifei, et al (81)
Response of herbaceous vegetation to phosphorus fertilizer in steppe desert	SU Jieqiong, LI Xinrong, FENG Li, et al (93)
Spatiotemporal characteristics of landscape change in the coastal wetlands of Yancheng caused by natural processes and human activities	ZHANG Huabing, LIU Hongyu, HAO Jingfeng, et al (101)
Response of species diversity in <i>Caragana Korshinskii</i> communities to climate factors and grazing disturbance in Shanxi, Shaanxi, Ningxia and Inner Mongolia	ZHOU Ling, SHANGGUAN Tieliang, GUO Donggang, et al (111)
Seasonal change of leaf morphological traits of six broadleaf seedlings in South China	XUE Li, ZHANG Rou, XI Ruchun, GUO Shuhong, et al (123)
Correlation analysis on <i>Reaumuria soongorica</i> seed traits of different natural populations in Gansu Corridor	SU Shiping, LI Yi, CHONG Peifang (135)
Carbon fixation estimation for the main plantation forest species in the red soil hilly region of southern-central Jiangxi Province, China	WU Dan, SHAO Quanqin, LI Jia, et al (142)
Effects of clonal integration on growth of <i>Alternanthera philoxeroides</i> under simulated acid rain and herbivory	GUO Wei, LI Junmin, HU Zhenghua (151)
Difference of the fitness of <i>Helicoverpa armigera</i> (Hübner) fed with different pepper varieties	JIA Yueli, CHENG Xiaodong, CAI Yongping, et al (159)
Hyperspectral estimating models of tobacco leaf area index	ZHANG Zhengyang, MA Xinming, JIA Fangfang, et al (168)
Temporal and spatial distribution of <i>Bemisia tabaci</i> on different host plants	CUI Hongying, GE Feng (176)
Abundance and composition of CO ₂ fixating bacteria in relation to long-term fertilization of paddy soils	YUAN Hongzhao, QIN Hongling, LIU Shoulong, et al (183)
Effect of <i>Leucaena leucocephala</i> on soil organic carbon conservation on slope in the purple soil area	GUO Tian, HE Binghui, JIANG Xianjun, et al (190)
Isolation and the remediation potential of a Laccase-producing Soil Fungus F-5	MAO Ting, PAN Cheng, XU Tingting, et al (198)
Spatial heterogeneity of soil microbial biomass in Mulun National Nature Reserve in Karst area	LIU Lu, SONG Tongqing, PENG Wanxia, et al (207)
Root functional traits and trade-offs in one-year-old plants of 25 species from the arid valley of Minjiang River	XU Kun, LI Fanglan, GOU Shuiyan, et al (215)
Spatial distribution of carbon density in grassland vegetation of the Loess Plateau of China	CHENG Jimin, CHENG Jie, YANG Xiaomei, et al (226)
Effect of nitrogen concentration in the subtending leaves of cotton bolls on the strength of source and sink during boll development	GAO Xiangbin, WANG Youhua, CHEN Binglin, et al (238)
Long-term tillage effects on soil organic carbon and microbial biomass carbon in a purple paddy soil	LI Hui, ZHANG Junke, JIANG Changsheng, et al (247)
Effects of exogenous calcium on resistance of <i>Hydrilla verticillata</i> (L. f.) Royle to cadmium stress	MIN Haili, CAI Sanjuan, XU Qinsong, et al (256)
Comparison of grain protein components and processing quality in responses to dim light during grain filling between strong and weak gluten wheat cultivars	LI Wenyang, YAN Suhui, WANG Zhenlin (265)
Review and Monograph	
Salt-responsive mechanisms in the plant root revealed by proteomic analyses	ZHAO Qi, DAI Shaojun (274)
The research progress and prospect of watershed ecological risk assessment	XU Yan, GAO Junfeng, ZHAO Jiahu, et al (284)
A review of the environmental behavior and effects of black carbon in soils and sediments	WANG Qing (293)
Scientific Note	
Variation in main morphological characteristics of <i>Amorpha fruticosa</i> plants in the Qinghai-Tibet Plateau	LIANG Kunlun, JIANG Wenqing, ZHOU Zhiyu, et al (311)
Identification of aphid resistance in eleven species from <i>Dendranthema</i> and <i>Artemisia</i> at seedling stage	SUN Ya, GUAN Zhiyong, CHEN Sumei, et al (319)
Research of padded film for afforestation in coastal argillaceous saline-alkali land	JING Feng, ZHU Jinzhao, ZHANG Xuepei, et al (326)

《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 1 期 (2012 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 1 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