

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

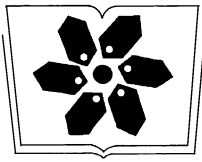
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第8期 Vol.32 No.8 **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 8 期

2012 年 4 月 (半月刊)

目 次

东北地区 5 种阔叶树苗木对火烧的生理响应.....	王 荣, 胡海清 (2303)
梭梭木虱发生规律及其影响因子.....	李粉莲, 吴雪海, 王佩玲, 等 (2311)
基于遥感降尺度估算中国森林生物量的空间分布.....	刘双娜, 周 涛, 舒 阳, 等 (2320)
流域景观格局与河流水质的多变量相关分析.....	赵 鹏, 夏北成, 秦建桥, 等 (2331)
内蒙古达赉湖地区赤狐生境选择及生境景观特征分析.....	张洪海, 李成涛, 窦华山, 等 (2342)
雅鲁藏布江流域底栖动物多样性及生态评价.....	徐梦珍, 王兆印, 潘保柱, 等 (2351)
用组合模型综合比较的方法分析气候变化对朱鹮潜在生境的影响.....	翟天庆, 李欣海 (2361)
2010 年牧区 2 代草地螟成虫迁飞的虫源分析	张 丽, 张云慧, 曾 娟, 等 (2371)
基于细胞色素 b 基因的中国岩羊不同地理种群遗传差异分析.....	李楠楠, 刘振生, 王正寰, 等 (2381)
喀斯特峰丛洼地不同退耕还林还草模式的土壤微生物特性.....	鹿士杨, 彭晚霞, 宋同清, 等 (2390)
永定河沿河沙地杨树人工林生态系统呼吸特征.....	方显瑞, 张志强, 查同刚, 等 (2400)
基于湿地植物光谱的水体总氮估测.....	刘 克, 赵文吉, 郭逍宇, 等 (2410)
背瘤丽蚌 F 型线粒体基因组全序列分析	陈 玲, 汪桂玲, 李家乐 (2420)
流域“源-汇”景观格局变化及其对磷污染负荷的影响——以天津于桥水库流域为例	李崇巍, 胡 婕, 王 飒, 等 (2430)
线虫群落对抚顺煤矸石山周边土壤可溶性盐污染的响应.....	张伟东, 吕 莹, 肖 莹, 等 (2439)
地上竞争对林下红松生物量分配的影响.....	汪金松, 范秀华, 范 娟, 等 (2447)
湿地松和马尾松人工林土壤甲烷代谢微生物群落的结构特征.....	王 芸, 郑 华, 陈法霖, 等 (2458)
马尾松和杉木树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值对气象因子的响应	卢钰茜, 王振兴, 郑怀舟, 等 (2466)
沙坡头人工植被演替过程的土壤呼吸特征.....	高艳红, 刘立超, 贾荣亮, 等 (2474)
豫西刺槐能源林的热值动态.....	谭晓红, 刘诗琦, 马履一, 等 (2483)
铁皮石斛种子的室内共生萌发	吴慧凤, 宋希强, 刘红霞 (2491)
红光与远红光比值对温室切花菊形态指标、叶面积及干物质分配的影响	杨再强, 张继波, 李永秀, 等 (2498)
扑草净对远志幼苗根系活力及氧化胁迫的影响.....	温银元, 郭平毅, 尹美强, 等 (2506)
地表臭氧浓度增加和 UV-B 辐射增强及其复合处理对大豆光合特性的影响	郑有飞, 徐卫民, 吴荣军, 等 (2515)
AMF 对喀斯特土壤枯落物分解和对宿主植物的养分传递	何跃军, 钟章成, 董 鸣 (2525)
传统豆酱发酵过程中细菌多样性动态.....	葛菁萍, 柴洋洋, 陈 丽, 等 (2532)
定位施肥对紫色菜园土磷素状况的影响.....	孙倩倩, 王正银, 赵 欢, 等 (2539)
基于生态需水保障的农业生态补偿标准.....	庞爱萍, 孙 涛 (2550)
保障粮食安全造成的生态价值损失评估模型及应用.....	芦蔚叶, 姜志德, 张应龙, 等 (2561)
专论与综述	
疏浚泥用于滨海湿地生态工程现状及在我国应用潜力.....	黄华梅, 高 杨, 王银霞, 等 (2571)
问题讨论	
厌氧氨氧化菌群体感应系统研究.....	丁 爽, 郑 平, 张 萌, 等 (2581)
基于形态结构特征的洞庭湖湖泊健康评价.....	帅 红, 李景保, 夏北成, 等 (2588)
研究简报	
黄土高原不同树种枯落叶混合分解效应.....	刘增文, 杜良贞, 张晓曦, 等 (2596)
不同经营类型毛竹林土壤活性有机碳的差异.....	马少杰, 李正才, 王 斌, 等 (2603)
干旱对辣椒光合作用及相关生理特性的影响	欧立军, 陈 波, 邹学校 (2612)
硅和干旱胁迫对水稻叶片光合特性和矿质养分吸收的影响	陈 伟, 蔡昆争, 陈基宁 (2620)



封面图说: 红树林粗大的气生根——红树林是热带、亚热带海湾及河口泥滩上特有的常绿灌木或乔木群落。由于海水环境条件特殊,红树林植物具有一系列特殊的生态和生理特征。其中之一就是气根,红树从根部长出许多指状的气生根露出海滩地面,以便在退潮时甚至潮水淹没时用以通气,故称呼吸根。在中国,红树林主要分布在海南、广西、广东和福建省沿海,它一般分布于高潮线与低潮线之间的潮间带,往往潮差越大,红树的呼吸根就长得越高越粗大。

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

DOI: 10.5846/stxb201103140312

汪金松, 范秀华, 范娟, 张春雨, 夏富才. 地上竞争对林下红松生物量分配的影响. 生态学报, 2012, 32(8): 2447-2457.

Wang J S, Fan X H, Fan J, Zhang C Y, Xia F C. Effect of aboveground competition on biomass partitioning of understory Korean pine (*Pinus koraiensis*). Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(8): 2447-2457.

地上竞争对林下红松生物量分配的影响

汪金松¹, 范秀华^{1,2,*}, 范娟¹, 张春雨¹, 夏富才^{1,3}

(1. 北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083;

2. 北京林业大学理学院, 北京 100083; 3. 北华大学林学院, 吉林 132013)

摘要: 采用整株收获法研究林下红松地上、地下生物量分配特征及地上竞争对其生物量分配和生物量相对生长的影响。结果表明, (1) 将整个树冠划分为等长的上、中、下三层, 活枝生物量从上层到下层逐渐增加, 而针叶生物量主要集中在树冠中下层且在中下层的分布无显著差异 ($P>0.05$), 随着地下生物量逐渐增加, 小细根 ($<2\text{ mm}$)、粗细根 ($2\text{—}5\text{ mm}$) 的比例逐渐减小, 而粗根 ($>5\text{ mm}$) 所占比例逐渐增大; (2) 地上竞争强度与胸径、树高呈显著指数相关 ($P<0.001$), 随着竞争强度增大, 胸径和树高均逐渐减小, 树高胸径比与竞争强度呈显著线性相关 ($P<0.05$), 而树冠比率与竞争强度之间无显著相关性 ($P>0.05$); (3) 随着竞争强度增大, 树干生物量占整株生物量的相对比例逐渐减小, 而细根 (小细根和粗细根) 生物量相对比例逐渐增大, 活枝、针叶及粗根生物量相对比例与竞争强度相关性并不显著 ($P>0.05$); (4) 红松根冠比均值为 0.15 且根冠比并不受地上竞争的影响, 茎叶比与竞争强度的相关性亦不显著 ($P>0.05$); (5) 地上竞争显著影响红松地上各器官生物量的相对生长, 且竞争强度与生物量呈显著负相关 ($P<0.001$)。

关键词: 林下红松; 地上竞争; 生物量分配; 相对生长

Effect of aboveground competition on biomass partitioning of understory Korean pine (*Pinus koraiensis*)

WANG Jinsong¹, FAN Xiuhua^{1,2,*}, FAN Juan¹, ZHANG Chunyu¹, XIA Fucui^{1,3}

1 The Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

2 College of Science, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

3 College of Forestry, Beihua University, Jilin 132013, China

Abstract: Competition is an important factor in biology and plant-plant interactions has inspired an increasing concern in recent years. In plant communities, competition is defined as the interaction between individuals, brought about by limited resources. Aboveground competition is usually size-asymmetric: the bigger individuals have a disproportionate advantage in competing for light than the smaller ones. This study deals with biomass allocation patterns and aboveground competition influences on biomass partitioning and allometric equations of understory Korean pine (*Pinus koraiensis*). The results will contribute to understanding the mechanisms of aboveground competition and provide a theoretical guide for effective utilization and protection of Korean pine. The results show that: (1) When dividing live crown into three equal layers (top, middle and bottom), live branch biomass increased from the top to the bottom layer, while needle biomass was highest in the middle and bottom layers of the crown. However, there was no significant difference between the needle biomass located at the middle and bottom layers ($P>0.05$). The relative proportion of coarse root ($>5\text{ mm}$) biomass increased while that of small fine root ($<2\text{ mm}$) and coarse fine root ($2\text{—}5\text{ mm}$) biomass both decreased with increasing

基金项目: 国家林业行业科研专项 (200904022, 20100400204)

收稿日期: 2011-03-14; 修订日期: 2011-10-31

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: bjfanxh@sina.com

total belowground biomass. (2) Stem diameter at breast height and tree height both showed a significantly exponential correlation with aboveground competition intensity ($P < 0.001$). Breast-height diameter and tree height both decreased with increasing competition intensity. The ratio of tree height to breast-height diameter showed a significant linear relationship with competition intensity ($P < 0.05$), whereas, there was no significant relationship ($P > 0.05$) between competition intensity and crown ratio, which is defined as crown length divided by total tree height. (3) With increasing competition intensity, the relative proportion of stem biomass decreased while that of fine root (small fine root and coarse fine root) biomass increased. There was no significant relationship between competition intensity and the proportion of live branch, needle as well as coarse root biomass ($P > 0.05$). (4) The average root to shoot ratio value was 0.15. This ratio was not affected by competition intensity ($P > 0.05$). Similarly, the stem to needle biomass ratio also did not correlate with competition intensity ($P > 0.05$). (5) Aboveground competition significantly affected the biomass allometry of aboveground biomass components and competition intensity showed a significant negative ($P < 0.001$) correlation with biomass components. Thus, competition should not be disregarded in biomass studies. Regarding forest management, it is necessary to carry out tending operations to release the understory Korean pine trees from competition, in order to stimulate their growth, to obtain timber products and to protect the available germ plasm resource.

Key Words: understory Korean pine; aboveground competition; biomass partitioning; allometry

竞争是指同种或不同种的两个或更多个体在所需的环境资源或能量不足的情况下,或因某种必需的环境因子受到限制而发生的相互关系^[1]。一般认为,植物间的竞争作用是影响植物个体生长、形态结构和存活状况的主要因素之一,同时也影响植物种群的空间分布格局、动态变化及整个群落的物种多样性^[2-3]。因此,植物的种内种间竞争研究一直是生态学研究的核心问题^[4]。在过去的几十年里,许多不同的竞争指数模型用来描述并量化植物的种内种间关系,其中以预测植物生长的竞争模型为主^[5-7]。相比短命植物的竞争与物种共存研究可通过环境条件控制来实现,树木之间的竞争关系则较为复杂且研究也具有一定的挑战性。但随着许多复杂竞争模型及分析手段的改进,森林中树木之间竞争关系的研究得到了较大的发展^[8-10]。

树木竞争主要发生在相邻的个体之间,包括树冠对光资源和地下根系对土壤资源的竞争。并且地上竞争是非对称性的,个体较大的树木拥有超出其大小比例的竞争能力^[11]。生物量是植物积累能量的主要体现,是整个生态系统运行的能量基础。竞争必然对树木生物量分配产生重要的影响,进而影响其生长发育过程。已有研究证明树冠生长及树冠结构变化在树木竞争中占重要地位^[12],许多研究亦表明地上竞争强烈影响树木的生产力及繁殖能力^[13]。地上竞争对树木生物量分配的影响已有相关报道^[14-16],但竞争对生物量相对生长的研究则鲜见报道^[17]。

林下植物生物量占森林总生物量的比例非常小,但在维护整个生态系统的演替、功能稳定和生物量多样性等方面起着重要的作用。一般林下个体较小,常年光照不足,树冠对光照的竞争非常激烈。红松(*Pinus koraiensis*)是喜光树种,同时也是我国东北小兴安岭、长白山林区天然林中主要的森林组成树种和珍贵的经济树木。其主根不发达,侧根水平扩展十分发达。目前关于红松生物量的研究较少^[18-19]。而竞争对其生物量分配及相对生长的研究还未见报道。本文通过整株收获法分析林下红松地上、地下生物量分配特征及地上竞争对其生物量分配和生物量相对生长的影响,旨在为准确估算林下生物量和生产力提供科学依据和基础数据,为了解地上竞争机制以及红松资源的有效保护和利用提供有益的参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

2005年7—8月,在吉林省白河林业局光明林场5号林班内,建立了一块5.2 hm²(长260 m,宽200 m)的固定样地。地理位置为42°20.907' N, 128°07.988' E,海拔高度为748 m。该区原始植被为阔叶红松林,经采伐破坏后形成的次生针阔混交林。林区内乔木树种主要包括红松(*Pinus koraiensis*)、臭冷杉(*Abies*

nephrolepis)、鱼鳞松(*Picea jezoensis*)、紫椴(*Tilia amurensis*)、白桦(*Betula platyphylla*)、蒙古栎(*Quercus mongolica*)、水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)、大青杨(*Populus ussuriensis*)、春榆(*Ulmus japonica*)和怀槐(*Maackia amurensis*)等。该区域属于受季风影响的温带大陆性山地气候,年平均气温为 3.3 °C,年降水量为 600—900 mm。雨季集中于 6—8 月份。土壤为山地暗棕色森林土,土层平均厚度为 20—40 cm。研究区域地势平坦,坡度不超过 5°。

1.2 研究方法

于 2008 年 8 月在样地外围的林下选择 10 株不同胸径大小的红松作为对象木,进行整株挖掘。对象木胸径及树高范围分别为 1.9—9.7 cm 和 2.3—8.9 m。对象木被伐倒前,首先测量其胸径(DBH, cm),南北向冠幅(CSN, m)及东西向冠幅(CEW, m)。以对象木为中心,将 10 m 半径的样圆定义为对象木的竞争区域。测量竞争区域内所有竞争木的胸径及到对象木的距离。利用罗盘记录竞争木相对于对象木在整个样圆中的角度,并将角度换算成极坐标值,从而计算出对象木与竞争木在样圆内的相对位置。

在众多林木竞争指数的模型中, Hegyi 提出的有关距离的预测模型得到了较多的认可和广泛的应用^[3-4,20]。本文采用改进的 Iterative Hegyi 竞争指数计算对象木与竞争木之间的竞争状况。该竞争指数根据对象木竞争区域内的林分密度确定对象木的竞争范围。同时根据竞争木在样圆中的相对位置区分“有效”和“无效”竞争木。“有效”竞争木必须具备一定的胸径大小才能影响对象木的生长,其次“有效”竞争木直接面向对象木而“无效”竞争木则被“有效”竞争木所遮挡^[21]。Iterative Hegyi 指数计算公式如下:

$$CI = \sum_{j=1}^n d_j / (d_i \times dist_{ij})$$

式中, CI 为竞争强度, n 为竞争范围内“有效”竞争木的株数, d_j 为竞争木 j 的胸径(cm), d_i 为对象木 i 的胸径(cm), $dist_{ij}$ 为对象木 i 到竞争木 j 的距离(m)。

将对象木伐倒后,测量每株对象木的树高(H , m)及树冠长度(CL , m)并计算出树冠比率(CR)。树冠比率定义为 $CR = CL/H$ 。将整个树冠划分为等长的上、中、下 3 层,在野外用台秤称量各层鲜重,并选取部分鲜样带回实验室烘干称重,根据鲜样干重/湿重比及针叶与活枝的比例推算各层活枝、针叶干重。待枝叶与树干分离后,将每层的树干于上部和底部各取一个圆盘作为鲜样带回实验室于 85 °C 下烘至恒重,称重。根据鲜样干重/湿重比推算出每层树干的干重。

根系挖掘前,首先用流动水浸泡。将整个根系挖掘出来带回实验室,用流动水冲洗,根据根系直径大小将整个根系划分为:小细根(<2 mm)、粗细根(2—5 mm)和粗根(>5 mm)3 个径级^[22]。取小细根、粗细根各 50—100 g 鲜样,粗根 100—200 g 鲜样,置于 85 °C 条件下烘干至恒重,称重。根据不同径级根系的干重/湿重比推算各径级根系干重。在每株对象木基部截取一个 5 cm 厚圆盘,带回实验室利用 Lintab 5 年轮分析仪(Rintech, Heidelberg, Germany)测定年龄(A , a)。对象木的基本特征如表 1 所示。

1.3 数据分析

采用一般非线性方程($Y = a X_1^b X_2^c X_3^d X_4^e X_5^f X_6^g X_7^h$)建立红松各器官生物量相对生长方程。式中, Y 为生物量, $X_1—X_7$ 为自变量(DBH, H , A , CL , CSN , CEW , CI), $a—h$ 为方程的系数。利用方程的显著性以及决定系数(R^2), 均方根误差(RMSE), 适合指数(FI)和平均预测误差(MPE)估计方程的拟合优度^[23]。各拟合指数的计算公式如下:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 / n} \quad (1)$$

$$FI = 1 - \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 / \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (2)$$

$$MPE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i| / Y_i \quad (3)$$

式中, n 为对象木的株数; Y_i , $\hat{Y}_i$ 分别为第 i 个植株生物量的观测值和预测值。 $\bar{Y}$ 为植株生物量的平均值。

表 1 林下红松 10 株对象木基本特征
Table 1 Basic characteristics of ten understory Korean pine trees

编号 Number	胸径 Diameter /cm	树高 Height /m	年龄 Age /a	树冠长度 Crown length /m	南北向冠幅 South-north crown width /m	东西向冠幅 East-west crown width/m	地上生物量 Aboveground biomass /(kg/株)	地下生物量 Belowground biomass /(kg/株)
1	1.9	2.3	34	1.6	1.3	1.2	0.826	0.154
2	2.7	2.9	31	2.2	1.9	1.7	1.503	0.210
3	3.2	3.3	35	2.6	2.6	2.5	2.564	0.355
4	4.0	3.8	33	3.2	2.1	1.9	2.826	0.469
5	5.2	5.9	48	3.8	2.8	2.6	4.297	0.703
6	5.9	5.2	38	3.5	2.7	2.3	6.534	0.947
7	6.2	4.4	26	3.6	3.3	3.2	7.621	1.170
8	7.5	6.9	50	4.9	3.5	3.0	10.01	1.236
9	8.5	6.8	40	4.3	3.6	3.5	13.221	1.962
10	9.7	8.9	48	7.2	4.0	2.9	19.068	3.365
均值 Mean	5.5	5.0	38	3.7	2.8	2.5	6.847	1.057
标准误 S. E.	0.8	0.7	3	0.5	0.3	0.2	1.845	0.311

文中所有统计分析采用国际通用软件 STATISTICA 7.0 (Statsoft Inc, Tulsa, Oklahoma) 及 R 2.12.2 (R Development Core Team,2010)^[24] 进行。采用制图软件 Sigmaplot 10.0 作图。

2 结果与分析

2.1 生物量分配

本文所选 10 株红松对象木地上生物量与地下生物量大小范围分别为 0.826—19.068 kg/株和 0.154—3.365 kg/株(表 1)。树冠中活枝、针叶生物量垂直分布如图 1 所示。活枝生物量主要集中在树冠中下层。Wilcoxon 非参数检验显示,树冠上层活枝生物量显著低于中下层,而中层又显著低于下层($P<0.05$);针叶生物量主要分布在树冠中下层且中下层的分布无显著差异($P>0.05$);总体上,红松枝叶生物量集中于树冠中下层,且树冠中层和下层的分布无显著差异($P>0.05$)。

粗根生物量占整个地下生物量的比例超过 70%;随着地下生物量逐渐增加,小细根、粗细根的比例逐渐减小,而粗根所占比例逐渐增大(图 2)。

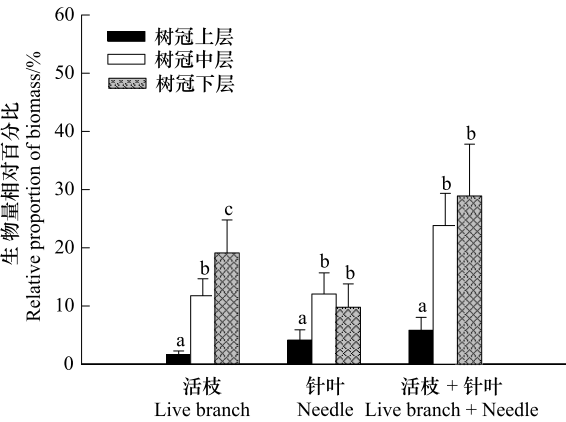


图 1 林下红松枝叶生物量垂直分布
Fig.1 Vertical distributions of living branch and needle biomass in understory Korean pine trees

生物量相对百分比为不同器官生物量占整个树冠生物量的百分比;误差项为标准误且不同字母表示差异显著($P<0.05$)

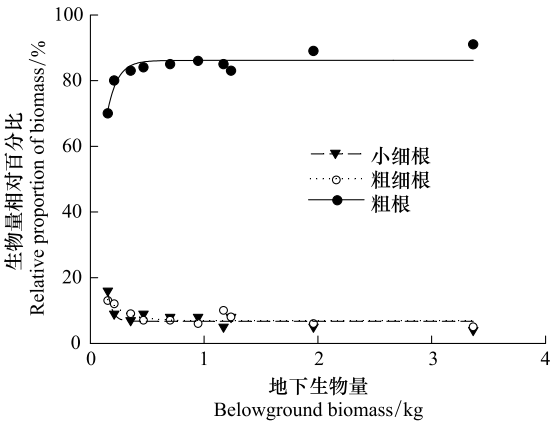


图 2 林下红松不同径级根系生物量与地下生物量的关系
Fig.2 The relationship between relative proportion of roots with different diameter classes and total belowground biomass in understory Korean pine trees

生物量相对百分比为不同径级根系生物量占整个地下生物量的百分比

不同径级根系占整个地下生物量的相对百分比(y)与地下生物量(x)拟合方程分别为:粗根 $y = 86.14(1 - e^{-0.011x})$ ($R^2 = 0.815$; $P < 0.001$); 粗细根 $y = 6.90 + 16.79 e^{-0.006x}$, ($R^2 = 0.732$; $P < 0.01$); 小细根 $y = 6.74 + 424.22 e^{-0.025x}$, ($R^2 = 0.768$; $P < 0.01$)。

小细根生物量、粗细根生物量、粗根生物量、活枝生物量、针叶生物量、树干生物量及枯枝生物量占整株生物量的相对比例分别为 $(1.08 \pm 0.18)\%$ 、 $(1.13 \pm 0.13)\%$ 、 $(11.13 \pm 0.41)\%$ 、 $(18.49 \pm 1.34)\%$ 、 $(14.85 \pm 1.47)\%$ 、 $(49.03 \pm 2.52)\%$ 和 $(4.30 \pm 0.92)\%$ 。地上生物量与地下生物量之间的 Pearson 相关系数高达 0.986 ($P < 0.001$), 二者呈显著线性相关, 拟合方程的斜率为 0.17。10 株对象木的根冠比 (R/S) 范围为 0.12—0.19, 均值为 0.15。细根(小细根+粗细根)生物量与针叶生物量的比值范围为 0.11—0.27, 均值亦为 0.15。

2.2 地上竞争对生物量分配的影响

竞争强度与胸径、树高、树高胸径比(H/DBH)及树冠比率的关系如图 3 所示。竞争强度与胸径、树高均呈显著指数相关($P < 0.001$)。随着竞争强度增大, 胸径和树高均逐渐减小。树高胸径比与竞争强度呈显著线性正相关($P < 0.05$)。而树冠比率与竞争强度之间无显著相关性($P > 0.05$)。

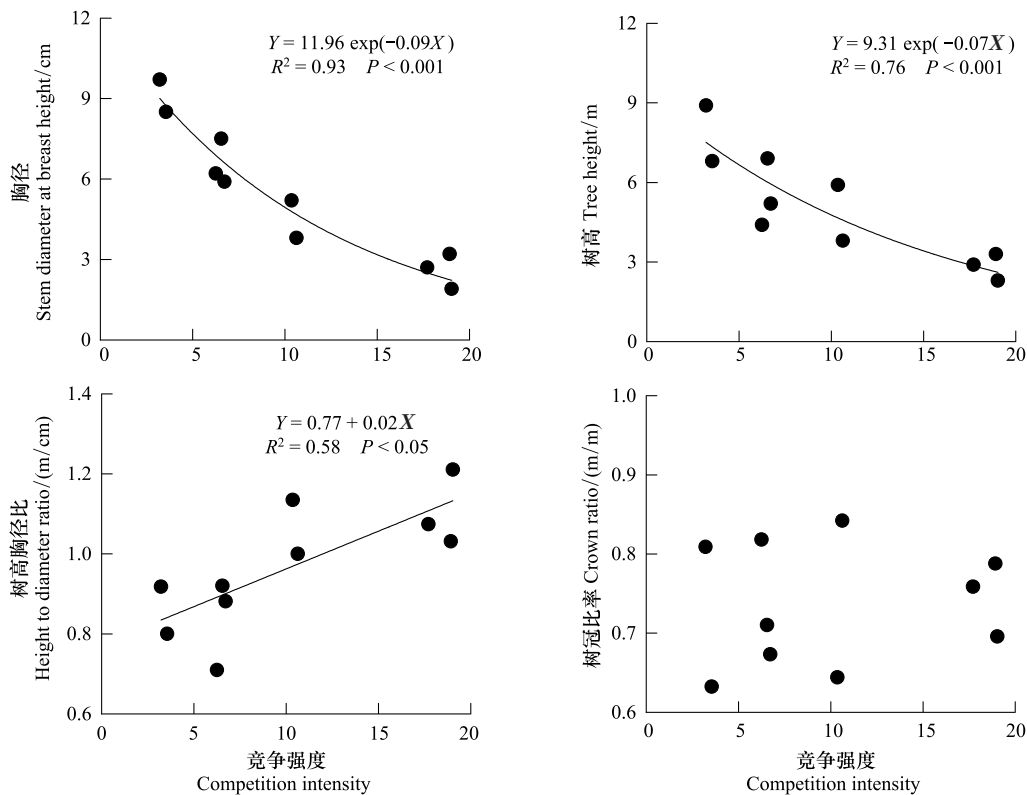


图 3 林下红松地上竞争强度与胸径、树高、树高胸径比及树冠比率的关系

Fig. 3 The relationship between competition intensity and breast-height diameter, tree height, height to diameter ratio and crown ratio in understory Korean pine trees

图 4 揭示了地上竞争对红松各器官生物量分配比例的影响。树干、小细根及粗细根拟合方程总体回归 F 检验显著($P < 0.05$)。随着竞争强度增大, 树干生物量占整株生物量的相对比例逐渐减小, 而细根生物量相对比例逐渐增大(图 4)。活枝、针叶及粗根拟合方程总体回归 F 检验不显著($P > 0.05$)。但随着竞争强度增大, 枝叶生物量相对比例有增大的趋势。而粗根生物量相对比例有减小的趋势(图 4)。

根冠比(R/S)并不受地上竞争的影响, 二者之间无显著相关性($P > 0.05$)。茎叶比与竞争强度的相关性亦不显著($P = 0.085$)(图 5)。但随着竞争强度增大, 茎叶比有减小的趋势。胸径、树高年平均生长率与竞争强度呈显著负相关($P < 0.001$)(图 5)。

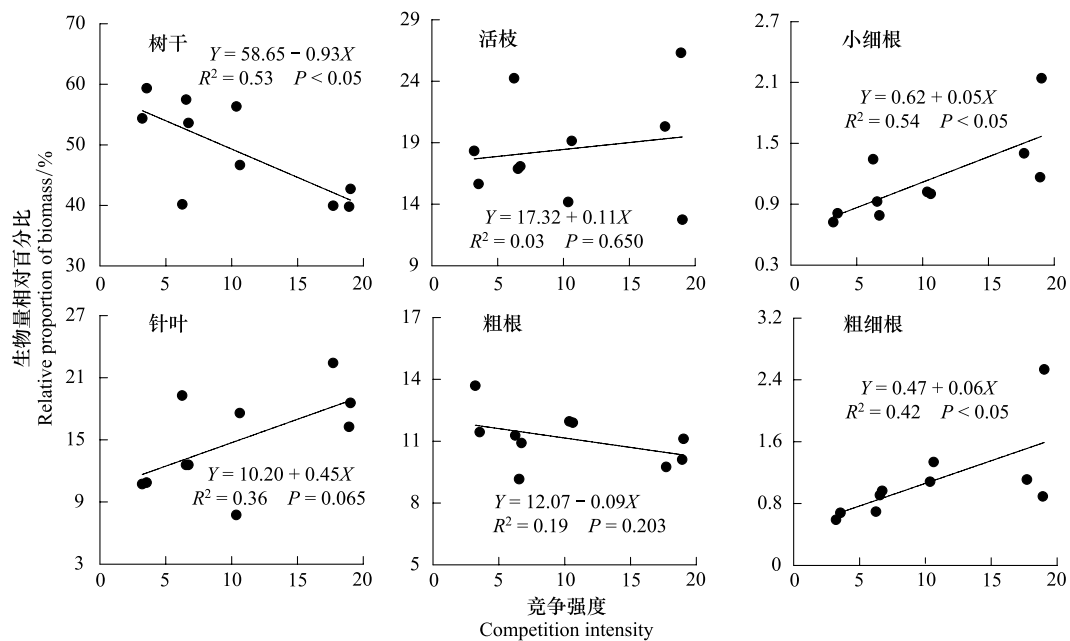


图4 林下红松地上竞争强度与树干生物量,活枝生物量,小细根生物量,针叶生物量、粗根生物量及粗细根生物量相对百分比的关系

Fig. 4 The relationship between competition intensity and relative proportion of different biomass components, stem, live branch, small fine root, needle, coarse root and coarse fine root to individual total biomass in understory Korean pine trees

生物量相对百分比(%)表示为不同器官生物量占整株生物量的百分比

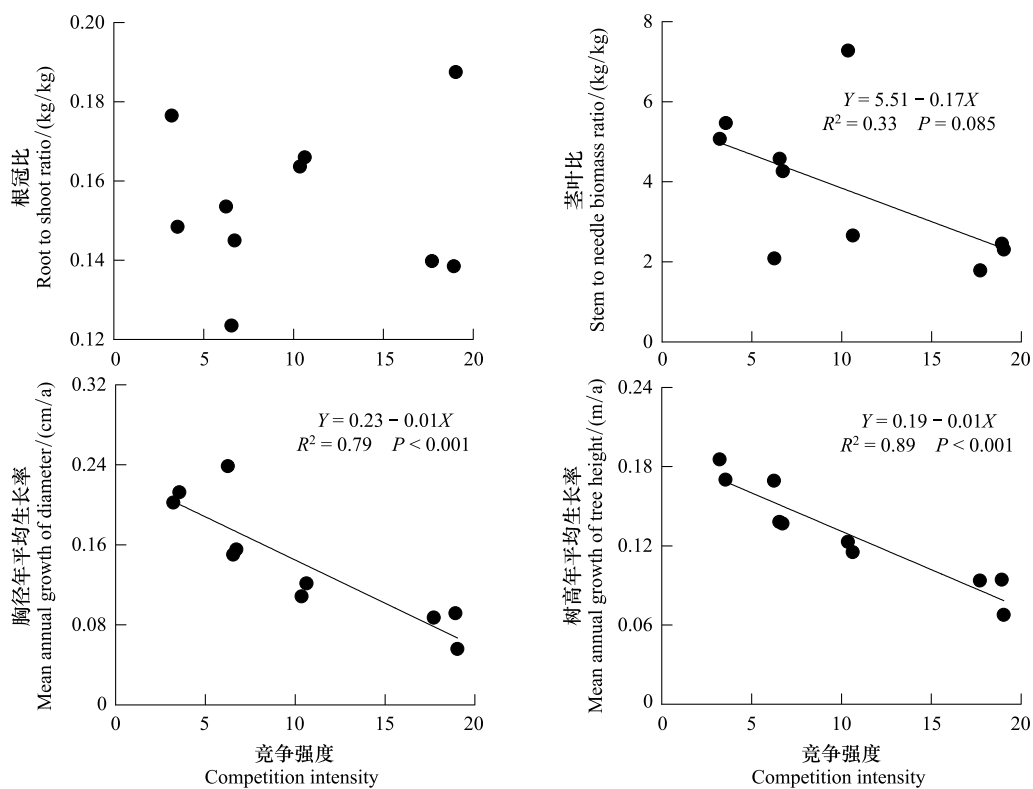


图5 林下红松地上竞争强度与根冠比,茎叶比,胸径年平均生长率及树高年平均生长率的关系

Fig. 5 The relationship between competition intensity and root to shoot biomass ratio, stem to needle biomass ratio, annual growth rates of breast height diameter and tree height in understory Korean pine trees

2.3 生物量相对生长方程

利用不同变量建立红松各器官生物量相对生长方程。如表 2 所示,所有方程 F 检验均显著($P<0.001$)。各器官基于胸径的单变量模型可解释量均超过了 95%。在胸径基础上,引进树高作为第二个变量对不同器官生物量方程预测效果的提高并不理想。其中,胸径树高 2 参数模型(a 和 b)只对树干生物量、小细根生物量方程的拟合效果比较显著。而 3 参数模型(a , b 和 c)对所有器官生物量模型预测精度的提高并不理想。

树木年龄决定着树干、小细根及粗根生物量,忽视年龄将对这三种器官生物量估测产生一定的误差。竞争显著影响红松地上各器官生物量的相对生长。利用胸径、树高、树冠长度及竞争强度可获得活枝、针叶生物量的最优模型。其中树冠长度与生物量呈显著正相关($P<0.01$)。而竞争强度与生物量呈显著负相关($P<0.001$)。此外,树冠特征变量(CL , CEW)对地下根系的准确预测也非常重要。

3 讨论

3.1 生物量分配

树冠所截取的太阳辐射量及在树冠中的分配状况取决于树冠结构,活枝、针叶的垂直分布是整个树冠结构的重要特征。枝叶的垂直分布影响着自身光合作用和生长过程,其对整个树冠重要性的研究已有很多报道。大多数研究表明,最长及最重的活枝均位于树冠的下层^[25-27]。因为活枝受光照的影响相对较小,并且越靠近树冠下层其生物量的累计时间越长。而针叶生长受光照影响较大,越靠近树冠下层,针叶所获得的光照越少,所以其生物量集中于树冠中下层且在中下层的分布基本均等。

红松地上生物量与地下生物量呈显著线性相关。其中地上生物量占整株生物量的比例约为 86.66%。这与 Vanninen 等研究结果相符(67%—89%)^[28]。细根与针叶生物量的比值约为 0.15,这一数值明显低于 Vanninen 等对芬兰南部欧洲赤松(*Pinus sylvestris*)的研究结论(0.47—1.13)^[29]。这可能与树种本身差异及对对象木生长环境有关。本研究所选红松基本处于林冠下层,由于光照不足,地上分配给地下的光合产物有限,影响根系吸收养分和水分,反过来限制了地上部分的生长。因此林下红松需要较多的叶片进行光合作用以满足和维持自身生长。这可能是本文细根与针叶生物量比值偏低的主要原因。Cairns 等研究松树及其他针叶树种得出结论,树木根冠比大小范围为 0.18—0.35^[30]。与之相比,本文红松根冠比接近这一大小范围的下限,结果略显偏低。这可能由于林下红松为了尽可能竞争较多的光照,高生长是该生长阶段的主要策略,导致地上部分的生长明显快于地下生物量的积累。另外,前人研究中并未将枯枝生物量包含在地上生物量内,这也是导致本文根冠比略显偏低的另一原因。

3.2 地上竞争对生物量分配的影响

植物竞争是一种普遍的现象。树木在生长发育过程中,与相邻植株进行光照、水分及养分竞争。地上竞争主要表现为树木之间对光照的争夺,而胸径和树高与植物光照吸收密切相关。随着竞争强度增大,胸径和树高均逐渐减小。树高胸径比反映了径向生长和高生长两种生长策略彼此之间的关系。本文研究发现,林下红松树高胸径比与竞争强度呈显著正相关。即严重受压的个体,所受树木竞争比较大,径向生长明显受到限制。而为了获得足够多的光照进行光合作用,高生长是严重受压个体的主要生存策略,反之亦然。树冠比率反映了整个树冠的大小,从而在一定程度上可量化树木之间的竞争状况。但本文中树冠比率并不受地上竞争的影响,这可能与枝叶生长对外界影响比较敏感有关。通常针叶生长受光照影响较大,但同时水分、营养及土壤条件对其影响也较明显。另外,针叶分布还与枝条着生位置、树高和树冠疏密程度有关,从而影响整个树冠的大小和结构。

林下红松对光照的竞争影响各器官生物量的分配。随着竞争强度增大,树干生物量在整株生物量中的比例逐渐减小而枝叶生物量有增大的趋势。生物量优先分配理论认为,激烈的光照竞争可以使得植物增加对叶片的投入而减少对树干木质的投入^[31]。Rodríguez 等^[32]研究辐射松(*Pinus radiata*)发现,相比较光照不足的林下,光照相对充足的农林复合生态系统中,辐射松的树干生长速率较快而叶片的生长则较慢,本文得到相似的结论。严重受压的个体,高生长及较大的树冠对其生长非常有利。另外由于粗根几乎不吸收水分和养分,

表 2 林下红松各器官生物量相对生长方程
Table 2 Allometric equations for different biomass components in understory Korean pine trees

生物量 Biomass/kg	模型 Model	参数 Parameter estimates								R ²	RMSE	FI	MPE
		a	b	c	d	e	f	g	h				
树干	Y=a DBH ^b	0.053***	2.390***	—	—	—	—	—	—	0.998***	0.26	0.995	12.04
	Y=a(DBH ² H) ^b	0.064***	0.782***	—	—	—	—	—	—	0.995***	0.36	0.991	8.35
	Y=a DBH ^b H ^c	0.056***	2.144***	0.234ns	—	—	—	—	—	0.998***	0.23	0.996	10.22
活枝	Y=a DBH ^b A ^d CL ^h	0.105*	1.550***	—	0.436**	—	—	—	-0.384**	0.999***	0.12	0.999	4.87
	Y=a DBH ^b	0.036ns	2.050***	—	—	—	—	—	—	0.956***	0.34	0.914	20.94
	Y=a (DBH ² H) ^b	0.038ns	0.687***	—	—	—	—	—	—	0.945***	0.38	0.894	24.25
branch	Y=a DBH ^b H ^c	0.035ns	2.414*	-0.383ns	—	—	—	—	—	0.958***	0.33	0.918	20.10
	Y=DBH ^b H ^c CL ^e CL ^h	—	1.476**	-2.083**	—	1.634**	—	—	-0.523***	0.992***	0.14	0.984	17.97
	Y=a DBH ^b	0.061ns	1.598***	—	—	—	—	—	—	0.994***	0.25	0.872	23.85
针叶	Y=a (DBH ² H) ^b	0.065ns	0.532**	—	—	—	—	—	—	0.907***	0.29	0.823	25.24
	Y=a DBH ^b H ^c	0.064ns	2.666*	-1.177ns	—	—	—	—	—	0.958***	0.20	0.918	22.10
	Y=DBH ^b H ^c CL ^e CL ^h	—	1.744***	-2.463**	—	1.448**	—	—	-0.470***	0.989***	0.10	0.979	11.79
小细根	Y=a DBH ^b	0.006**	1.333***	—	—	—	—	—	—	0.983***	0.01	0.967	13.43
	Y=a (DBH ² H) ^b	0.006***	0.460***	—	—	—	—	—	—	0.987***	0.01	0.974	13.15
	Y=a DBH ^b H ^c	0.006**	0.979**	0.397ns	—	—	—	—	—	0.987***	0.01	0.975	13.13
粗细根	Y=a DBH ^b H ^c A ^d CEV ^g	0.0004ns	2.464**	-1.394*	1.000*	—	—	-0.600*	—	0.997***	0.00	0.995	6.40
	Y=a DBH ^b	0.005ns	1.497***	—	—	—	—	—	—	0.955***	0.01	0.911	16.87
	Y=a (DBH ² H) ^b	0.006ns	0.500***	—	—	—	—	—	—	0.933***	0.02	0.871	17.57
Coarse fine root	Y=a DBH ^b H ^c	0.005*	2.362**	-0.942ns	—	—	—	—	—	0.971***	0.01	0.942	17.04
	Y=a DBH ^b H ^c CL ^e	0.007*	2.436***	-1.936**	—	0.919*	—	—	—	0.988***	0.01	0.976	15.83
	Y=a DBH ^b	0.005ns	2.761***	—	—	—	—	—	—	0.976***	0.19	0.952	31.36
Coarse root	Y=a (DBH ² H) ^b	0.007ns	0.899***	—	—	—	—	—	—	0.976***	0.19	0.952	26.88
	Y=a DBH ^b H ^c	0.006ns	2.299*	0.430ns	—	—	—	—	—	0.977***	0.18	0.955	28.45
	Y=DBH ^b A ^d CL ^e	—	1.463**	—	-1.292***	1.413**	—	—	—	0.987***	0.14	0.974	18.23
RMSE;均方根误差;FI;适合指数(Fit index);平均预测误差; * 在0.05 水平上差异显著 (P<0.05); ** * 在0.01 水平上差异显著 (P<0.01); *** 在0.001 水平上差异显著 (P<0.001);ns 差													

RMSE:均方根误差;FI:拟合指数(Fit index);MPE:平均预测误差;* 在 0.05 水平上差异显著(P<0.05);** 在 0.01 水平上差异显著(P<0.01);*** 在 0.001 水平上差异显著(P<0.001);ns 差异不显著(P>0.05)

为了吸收较多的营养和水分,严重受压个体细根生物量的比例明显偏高。这都体现了对光竞争和对资源竞争的一种投入。随着个体长大,其竞争能力逐渐增强,此时树干生长与粗根生物量增加对整个树木起着重要的支撑作用,其分配比例也随之增加。

植物根冠比的变化,常常反映植物为了最大化的获取资源而采取的生物量最优分配策略,也就是植物通过调节各器官生物量的分配,以保证自身能够最大化的吸收受限资源。因此根冠比常用来量化植株之间的竞争效应^[33]。本文研究表明,红松根冠比并不受地上竞争的影响。这与 Newton 等^[34]对花旗松(*Pseudotsuga menziesii*)的研究结果一致。Casper 等^[35]研究草本植物 *Abutilon theophrasti* 亦得到相似结论。Watt 等^[36]研究杂草与幼年辐射松竞争关系时亦发现,杂草对光照及水分的竞争并未改变辐射松的根冠比。本文中红松地下生物量主要以粗根为主,随着竞争增强,粗根在整株生物量中的比例有减小的趋势,但变化很小,而地上枝叶生物量比例有增大的趋势。这说明枝叶生物量分配比例的增加可能主要以牺牲树干生物量为代价而不是减小粗根生物量,从而使得整个根冠比并不受地上竞争的影响。从另一方面也说明了竞争强度的变化,可能仅仅使得红松地上各器官生物量分配比例发生较大的变化。而对粗根生物量分配比例的影响并不太大。

3.3 地上竞争对生物量相对生长的影响

本文利用不同变量建立林下红松各器官生物量模型。研究表明,基于胸径的单变量模型可较好地预测各器官生物量。这与人研究结果一致^[37]。许多生物量方程在胸径的基础上引进树高作为第二个变量预测树木各器官生物量,其中以北方森林和热带森林研究较多^[38-40]。Wagner 和 Ter-Mikaelian^[41]对四种北方针叶树种以及 Cienciala 等^[42]对欧洲中部欧洲赤松的研究表明,胸径树高 2 参数模型仅提高了树干生物量的预测效果,本文得到相似的结论。但胸径树高 2 参数模型对红松其他器官特别是活枝、针叶生物量的预测效果并不如单变量胸径明显,这与欧洲山毛榉(*Fagus sylvatica*)及欧洲赤松的研究结论一致^[42-43]。引进树高对模型预测精度的提高并不理想,这可能与胸径和树高之间的共线性系数较高有关。另外,由于树高数据获得费时费力且准确性不高,因此在实际工作中也很少应用树高作为预测因子。

由于地上竞争是非对称性竞争,树木树冠大小对光照的争夺具有与其自身大小不呈比例的优势。关于竞争或者林分密度对树木生物量分配的研究已有相关报道^[14-16]。本文首次研究了地上竞争对林下红松生物量相对生长的影响。研究结果表明,地上竞争强度显著影响红松地上各器官生物量相对生长且竞争强度与生物量呈显著负相关。这可能与地上竞争显著影响地上各器官生物量分配比例有关。Petersen 等^[44]研究幼年花旗松与杂草竞争关系时发现,相比竞争存在的情况下,当花旗松周围无杂草竞争时,对于特定胸径的样木,其活枝生物量更大且叶面积与胸径的关系也更加紧密。这充分说明了竞争对树木生物量分配以及生物量相对生长的影响。因此对于不同年龄阶段的林分或者林分密度存在显著差异时,竞争是建立树木生物量相对生长的一个不可忽视的变量。

一般情况下,植物体的竞争能力受其胸径大小的影响较大。邹春静等^[20]研究阔叶红松林树种间竞争关系表明,红松个体竞争强度与对象木胸径严格服从幂函数关系。随着红松幼树个体的生长,当红松径级达到 20 cm 以上时,开始表现出较强的竞争能力。当对象木胸径达到 50 cm 后,竞争强度变化不大。林下红松由于光照缺乏,自身竞争能力较弱,对其生长及自然更新极其不利。由于红松在林下更新不良,林隙内红松的更新密度通常比林下高很多。因此若要获得高产量的红松木材,保护红松种质资源,必须对生长受限制的林下红松进行有目的的人工抚育。

References:

- [1] Duan R Y, Wang X A. Intraspecific and interspecific competition in *Larix chinensis*. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(2): 242-250.
- [2] Wu G S, Wang Z Q. Individual tree growth competition model in mixed plantation of manchurian ash and dahurian larch. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(5): 646-650.
- [3] Liu F Y, Li K, Liao S X, Cui Y Z. Interspecific competition, population structure and growth dynamics of endangered *Calocedrus macrolepis*. *Scientia Silvae Sinicae*, 2010, 46(10): 23-26.

- [4] Zou C J, Xu W D. Study on intraspecific and interspecific competition of *Picea mongolica*. *Acta Phytocologica Sinica*, 1998, 22(3): 269-274.
- [5] Biging G S, Dobbertin M. Evaluation of competition indices in individual tree growth models. *Forest Science*, 1995, 41(2): 360-377.
- [6] Daniels R F. Notes: simple competition indices and their correlation with annual Loblolly pine tree growth. *Forest Science*, 1976, 22(4): 454-456.
- [7] Weigelt A, Jolliffe P. Indices of plant competition. *Journal of Ecology*, 2003, 91(5): 707-720.
- [8] Freckleton R F, Watkinson A W. Nonmanipulative determination of plant community dynamics. *Trends in Ecology and Evolution*, 2001, 16(6): 301-307.
- [9] Leathwick J R. Intra-generic competition among *Nothofagus* in New Zealand's primary indigenous forests. *Biodiversity and Conservation*, 2002, 11(12): 2177-2187.
- [10] Berger U, Hildenbrandt H. The strength of competition among individual trees and the biomass-density trajectories of the cohort. *Plant Ecology*, 2003, 167(1): 89-96.
- [11] Weiner J. Asymmetric competition in plant populations. *Trends in Ecology and Evolution*, 1990, 5(11): 360-364.
- [12] Regnier E E, Stoller E W. The effects of soybean (*Glycine max*) interference on the canopy architecture of common cocklebur (*Xanthium strumarium*), Jimsonweed (*Datura stramonium*), and velvetleaf (*Abutilon theophrasti*). *Weed Science*, 1989, 37(2): 187-195.
- [13] Trenbath B R. Neighbour affects in the genus *Avena* II. Comparison of weed species. *Journal of Applied Ecology*, 1974, 11(1): 111-125.
- [14] Pattison R R, Goldstein G, Ares A. Growth, biomass allocation and photosynthesis of invasive and native Hawaiian rainforest species. *Oecologia*, 1998, 117(4): 449-459.
- [15] Delucia E H, Sipe T W, Herrick J, Maherali H. Sapling biomass allocation and growth in the understory of a deciduous hardwood forest. *American Journal of Botany*, 1998, 85(7): 955-963.
- [16] Nützold R, Blossey B, Newton E. The influence of below ground herbivory and plant competition on growth and biomass allocation of purple loosestrife. *Oecologia*, 1998, 113(1): 82-93.
- [17] Mäkinen H. Effect of intertree competition on biomass production of *Pinus sylvestris* (L.) half-sib families. *Forest Ecology and Management*, 1996, 86(1/3): 105-112.
- [18] Wang C K. Biomass allometric equations for 10 co-occurring tree species in Chinese temperate forests. *Forest Ecology and Management*, 2006, 222(1/3): 9-16.
- [19] Xu Z B, Li X, Dai H C. Study on the biomass and productivity of broad leaved-Korean pine forest at Changbai Mountain. *Forest Ecosystem Research*, 1985, (5): 33-47.
- [20] Zou C J, Han S J, Zhang J H. Competition relationship among tree species in broad-leaved Korean pine mixed forest and its significance for managing the forest. *Chinese Journal of Ecology*, 2001, 20(4): 35-38.
- [21] Zhang C Y, Zhao X H, Gao L S, Gadow K V. Gender, neighboring competition and habitat effects on the stem growth in dioecious *Fraxinus mandshurica* trees in a northern temperate forest. *Annals of Forest Science*, 2009, 66(8): 1-9.
- [22] Cheng S, Widden P, Messier C. Light and tree size influence belowground development in yellow birch and sugar maple. *Plant and Soil*, 2005, 270(1): 321-330.
- [23] Hosoda K, Iehara T. Aboveground biomass equations for individual trees of *Cryptomeria japonica*, *Chamaecyparis obtusa* and *Larix kaempferi* in Japan. *Journal of Forest Research*, 2010, 15(5): 299-306.
- [24] R Development Core Team. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0. 2010. <http://www.R-project.org/>.
- [25] Hepp T E, Brister G H. Estimating crown biomass in loblolly pine plantations in the Carolina flatwoods. *Forest Science*, 1982, 28(1): 115-127.
- [26] Xu M G, Harrington T B. Foliage biomass distribution of loblolly pine as affected by tree dominance, crown size, and stand characteristics. *Canadian Journal of Forest Research*, 1998, 28(6): 887-892.
- [27] Xiao C W, Ceulemans R. Allometric relationships for below- and aboveground biomass of young Scots pines. *Forest Ecology and Management*, 2004, 203(1/3): 177-186.
- [28] Vanninen P, Ylitalo H, Sievänen R, Mäkelä A. Effects of age and site quality on the distribution of biomass in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Trees*, 1996, 10(4): 231-238.
- [29] Vanninen P, Mäkelä A. Fine root biomass of Scots pine stands differing in age and soil fertility in southern Finland. *Tree Physiology*, 1999, 19(12): 823-830.
- [30] Cairns M A, Browns S, Helmer E H, Baumgardner G A. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia*, 1997, 111(1): 1-11.
- [31] Waring R H, Thies W G, Muscato D. Stem growth per unit of leaf area: a measure of tree vigour. *Forest Science*, 1980, 26(1): 112-117.
- [32] Rodríguez R, Espinosa M, Hofmann G, Marchant M. Needle mass, fine root and stem wood production in response to silvicultural treatment, tree

- size and competitive status in radiata pine stands. *Forest Ecology and Management*, 2003, 186(1/3): 287-296.
- [33] Wilson S D, Tilman D. Competitive responses of eight old-field plant species in four environments. *Ecology*, 1995, 76(4): 1169-1180.
- [34] Newton M, Cole E C. Root development in planted Douglas-fir under varying competitive stress. *Canadian Journal of Forest Research*, 1991, 21(1): 25-31.
- [35] Casper B B, Cahill J F Jr, Hyatt L A. Above- ground competition does not alter biomass allocated to roots in *Abutilon theophrasti*. *New Phytologist*, 1998, 140(2): 231-238.
- [36] Watt M S, Whitehead D, Mason E G, Richardson B, Kimberley M O. The influence of weed competition for light and water on growth and dry matter partitioning of young *Pinus radiata*, at a dryland site. *Forest Ecology and Management*, 2003, 183(1/3): 363-376.
- [37] Ter-Mikaelian M T, Korzukhin M D. Biomass equations for sixty-five North American tree species. *Forest Ecology and Management*, 1997, 97(1): 1-24.
- [38] Socha J, Wezyk P. Allometric equations for estimating the foliage biomass of Scots pine. *European Journal of Forest Research*, 2007, 126(2): 263-270.
- [39] Peichl M, Arain M A. Allometry and partitioning of above- and belowground tree biomass in an age-sequence of white pine forests. *Forest Ecology and Management*, 2007, 253(1/3): 68-80.
- [40] Pajtk J, Konôpka B, Lukac M. Biomass functions and expansion factors in young Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst) trees. *Forest Ecology and Management*, 2008, 256(5): 1096-1103.
- [41] Wagner R G, Ter-Mikaelian M T. Comparison of biomass component equations for four species of northern coniferous tree seedlings. *Annals of Forest Science*, 1999, 56(3): 193-199.
- [42] Cienciala E, Černý M, Tatarinov F, Apltauer J, Exnerová Z. Biomass functions applicable to Scots pine. *Trees*, 2006, 20(4): 483-495.
- [43] Cienciala E, Černý M, Apltauer J, Exnerová Z. Biomass functions applicable to European beech. *Journal of Forest Science*, 2005, 51(4): 147-154.
- [44] Petersen K S, Ares A, Terry T A, Harrison R B. Vegetation competition effects on aboveground biomass and macronutrients, leaf area, and crown structure in 5-year old Douglas-fir. *New Forests*, 2008, 35(3): 299-311.

参考文献:

- [1] 段仁燕, 王孝安. 太白红杉种内和种间竞争研究. *植物生态学报*, 2005, 29(2): 242-250.
- [2] 吴巩固, 王政权. 水曲柳落叶松人工混交林中树木个体生长的竞争效应模型. *应用生态学报*, 2000, 11(5): 646-650.
- [3] 刘方炎, 李昆, 廖声熙, 崔永忠. 濒危植物翠柏的个体生长动态及种群结构与种内竞争. *林业科学*, 2010, 46(10): 23-26.
- [4] 邹春静, 徐文铎. 沙地云杉种内、种间竞争的研究. *植物生态学报*, 1998, 22(3): 269-274.
- [19] 徐振邦, 李昕, 戴洪才. 长白山阔叶红松林生物生产量的研究. *森林生态系统研究*, 1985, (5): 33-47.
- [20] 邹春静, 韩士杰, 张军辉. 阔叶红松林树种间竞争关系及其营林意义. *生态学杂志*, 2001, 20(4): 35-38.

CONTENTS

Physiological responses of five deciduous broad-leaved tree seedlings in the Northeast Area of China to burning	WANG Rong, HU Haiqing (2303)
The occurrence regularity of psyllid in <i>Haloxylon</i> spp and its influencing factors	LI Fenlian, WU Xuehai, WANG Peiling, et al (2311)
The estimating of the spatial distribution of forest biomass in China based on remote sensing and downscaling techniques	LIU Shuangna, ZHOU Tao, SHU Yang, et al (2320)
Multivariate correlation analysis between landscape pattern and water quality	ZHAO Peng, XIA Beicheng, QIN Jianqiao, et al (2331)
Red fox habitat selection and landscape feature analysis in the Dalai Lake Natural Reserve in Inner Mongolia	ZHANG Honghai, LI Chengtao, DOU Huashan, et al (2342)
Research on assemblage characteristics of macroinvertebrates in the Yalu Tsangpo River Basin	XU Mengzhen, WANG Zhaoyin, PAN Baozhu, et al (2351)
Climate change induced potential range shift of the crested ibis based on ensemble models	ZHAI Tianqing, LI Xinhai (2361)
Analysis of the sources of second generation meadow moth populations that immigrated into Chinese pastoral areas in 2010	ZHANG Li, ZHANG Yunhui, ZENG Juan, et al (2371)
Genetic diversity based on cytochrome <i>b</i> gene analysis of different geographic populations of blue sheep in China	LI Nannan, LIU Zhensheng, WANG Zhenghuan, et al (2381)
Soil microbial properties under different grain-for-green patterns in depressions between karst hills	LU Shiyang, PENG Wanxia, SONG Tongqing, et al (2390)
Ecosystem and soil respiration of a poplar plantation on a sandy floodplain in Northern China	FANG Xianrui, ZHANG Zhiqiang, ZHA Tonggang, et al (2400)
Estimating total nitrogen content in water body based on reflectance from wetland vegetation	LIU Ke, ZHAO Wenji, GUO Xiaoyu, et al (2410)
Analysis on complete F type of mitochondrial genome in <i>Lamprotula lei</i>	CHEN Ling, WANG Guiling, LI Jiale (2420)
The source-sink landscape pattern change and its effect on phosphorus pollution in Yuqiao watershed	LI Chongwei, HU Jie, WANG Sa, et al (2430)
Responses of soil nematode communities to soluble salt contamination around Gangue hill in Fushun	ZHANG Weidong, LV Ying, XIAO Ying, et al (2439)
Effect of aboveground competition on biomass partitioning of understory Korean pine (<i>Pinus koraiensis</i>)	WANG Jinsong, FAN Xiuhua, FAN Juan, et al (2447)
Research of methane metabolic microbial community in soils of slash pine plantation and Masson pine plantation	WANG Yun, ZHENG Hua, CHEN Falin, et al (2458)
$\delta^{13}\text{C}$ values of stem phloem water soluble sugars of <i>Pinus massoniana</i> and <i>Cunninghamia lanceolata</i> response to meteorological factors	LU Yuxi, WANG Zhenxing, ZHENG Huaizhou, et al (2466)
Soil respiration patterns during restoration of vegetation in the Shapotou area, Northern China	GAO Yanhong, LIU Lichao, JIA Rongliang, et al (2474)
Dynamics of caloric value of <i>Robinia pseudoacacia</i> L. energy forest in the west of Henan Province	TAN Xiaohong, LIU Shiqi, MA Luyi, et al (2483)
<i>Ex-situ</i> symbiotic seed germination of <i>Dendrobium catenatum</i>	WU Huifeng, SONG Xiqiang, LIU Hongxia (2491)
Effects of red/far red ratio on morphological index, leaf area and dry matter partitioning of cut chrysanthemum flower	YANG Zaiqiang, ZHANG Jibo, LI Yongxiu, et al (2498)
Effect of prometryne on root activity and oxidative stress of <i>Polygala tenuifolia</i> Willd. seedling roots	WEN Yinyuan, GUO Pingyi, YIN Meiqiang, et al (2506)
Combined effects of elevated O_3 concentration and UV-B radiation on photosynthetic characteristics of soybean	ZHENG Youfei, XU Weimin, WU Rongjun, et al (2515)
Nutrients transfer for host plant and litter decomposition by AMF in Karst soil	HE Yuejun, ZHONG Zhangcheng, DONG Ming (2525)
The dynamics of bacteria community diversity during the fermentation process of traditional soybean paste	GE Jingping, CHAI Yangyang, CHEN Li, et al (2532)
Effect of site-specific fertilization on soil phosphorus in purple garden soil	SUN Qianqian, WANG Zhengyin, ZHAO Huan, et al (2539)
A method of determining standards for ecological compensation in agricultural areas, giving priority to environmental flows in water allocation	PANG Aiping, SUN Tao (2550)
The loss of ecosystem services value caused by food security assessment model and its application	LU Weiye, JIANG Zhide, ZHANG Yinglong, et al (2561)
Review and Monograph	
Review of the current situation of coastal ecological engineering using dredged marine sediments and prospects for potential application in China	HUANG Huamei, GAO Yang, WANG Yinxia, et al (2571)
Discussion	
Quorum sensing in anaerobic ammonium oxidation bacteria	DING Shuang, ZHENG Ping, ZHANG Meng, et al (2581)
Health evaluation of Dongting Lake based on morphological characters	SHUAI Hong, LI Jingbao, XIA Beicheng, et al (2588)
Scientific Note	
Effects of mix-leaf litter decomposition of different trees in the Loess Plateau	LIU Zengwen, DU Liangzhen, ZHANG Xiaoxi, et al (2596)
Changes in soil active organic carbon under different management types of bamboo stands	MA Shaojie, LI Zhengcai, WANG Bin, et al (2603)
Effects of drought stress on photosynthesis and associated physiological characters of pepper	OU Lijun, CHEN Bo, ZOU Xuexiao (2612)
Effects of silicon application and drought stress on photosynthetic traits and mineral nutrient absorption of rice leaves	CHEN Wei, CAI Kunzheng, CHEN Jining (2620)

《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 8 期 (2012 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 8 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: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