

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 14 期 Vol.31 No.14 **2011**

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 31 卷 第 14 期

2011 年 7 月 (半月刊)

目 次

厦门市三个产业土地利用变化的敏感性·····	黄 静,崔胜辉,李方一,等 (3863)
黄河源区沙漠化及其景观格局的变化·····	胡光印,董治宝,逯军峰,等 (3872)
岩溶山区景观多样性变化的生态学意义对比——以贵州四个典型地区为例·····	罗光杰,李阳兵,王世杰,等 (3882)
基于城市地表参数变化的城市热岛效应分析·····	徐涵秋 (3890)
北京市土地利用生态分类方法·····	唐秀美,陈百明,路庆斌,等 (3902)
长白山红松臭冷杉光谱反射随海拔的变化·····	范秀华,刘伟国,卢文敏,等 (3910)
臭冷杉生物量分配格局及异速生长模型·····	汪金松,张春雨,范秀华,等 (3918)
渔山岛岩礁基质潮间带大型底栖动物优势种生态位·····	焦海峰,施慧雄,尤仲杰,等 (3928)
食物质量差异对树麻雀能量预算和消化道形态特征的影响·····	杨志宏,邵淑丽 (3937)
桂西北典型喀斯特区生态服务价值的环境响应及其空间尺度特征·····	张明阳,王克林,刘会玉,等 (3947)
隔沟交替灌溉条件下玉米根系形态性状及结构分布·····	李彩霞,孙景生,周新国,等 (3956)
不同抗病性茄子根系分泌物对黄萎菌的化感作用·····	周宝利,陈志霞,杜 亮,等 (3964)
镉在草-菇-土系统中的循环与生物富集效应·····	翁伯琦,姜照伟,王义祥,等 (3973)
鄱阳湖流域泥沙流失及吸附态氮磷输出负荷评估·····	余进祥,郑博福,刘娅菲,等 (3980)
柠条细根的分布和动态及其与土壤资源有效性的关系·····	史建伟,王孟本,陈建文,等 (3990)
土壤盐渍化对尿素与磷酸脲氮挥发的影响·····	梁 飞,田长彦 (3999)
象山港海域细菌的分布特征及其环境影响因素·····	杨季芳,王海丽,陈福生,等 (4007)
近地层臭氧对小麦抗氧化酶活性变化动态的影响·····	吴芳芳,郑有飞,吴荣军,等 (4019)
抑制剂和安全剂对高羊茅根中酶活性和菲代谢的影响·····	龚帅帅,韩 进,高彦征,等 (4027)
南苜蓿高效共生根瘤菌土壤的筛选·····	刘晓云,郭振国,李乔仙,等 (4034)
汉江上游金水河流域土壤常量元素迁移模式·····	何文鸣,周 杰,张昌盛,等 (4042)
基于地理和气象要素的春玉米生育期栅格化方法·····	刘 勤,严昌荣,梅旭荣,等 (4056)
日光温室切花郁金香花期与外观品质预测模型·····	李 刚,陈亚茹,戴剑锋,等 (4062)
冀西北坝上旱干区南瓜油葵间作的水分效应·····	黄 伟,张俊花,李文红,等 (4072)
专论与综述	
鸟类分子系统地理学研究进展·····	董 路,张雁云 (4082)
自然保护区空间特征和地块最优选择方法·····	王宜成 (4094)
人类活动是导致生物均质化的主要因素·····	陈国奇,强 胜 (4107)
冬虫夏草发生的影响因子·····	张古忍,余俊锋,吴光国,等 (4117)
自然湿地土壤产甲烷菌和甲烷氧化菌多样性的分子检测·····	余晨兴,全 川 (4126)
研究简报	
塔里木河上游典型绿洲不同连作年限棉田土壤质量评价·····	贡 璐,张海峰,吕光辉,等 (4136)
高山森林凋落物分解过程中的微生物生物量动态·····	周晓庆,吴福忠,杨万勤,等 (4144)
生物结皮粗糙特征——以古尔班通古特沙漠为例·····	王雪芹,张元明,张伟民,等 (4153)
不同海拔茶园害虫、天敌种群及其群落结构差异·····	柯胜兵,党凤花,毕守东,等 (4161)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 306 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-07	



封面图说:内地多呈灌木状的沙棘,在青藏高原就表现为高大的乔木,在拉萨河以及雅鲁藏布江沿岸常常可以看到高大的沙棘林和沼泽塔头湿地相映成趣的美丽景观。

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

汪金松, 张春雨, 范秀华, 赵亚洲. 臭冷杉生物量分配格局及异速生长模型. 生态学报, 2011, 31 (14): 3918-3927.

Wang J S, Zhang C Y, Fan X H, Zhao Y Z. Biomass allocation patterns and allometric models of *Abies nephrolepis* Maxim. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31 (14): 3918-3927.

臭冷杉生物量分配格局及异速生长模型

汪金松, 张春雨, 范秀华*, 赵亚洲

(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)

摘要: 臭冷杉是长白山阔叶红松林中重要针叶树种, 采用整株收获法分析 21 株臭冷杉地上地下生物量分配格局。在枝条水平上采用样枝直径 (BD)、样枝长度 (BL)、样枝所在轮生枝位置 (WP) 建立活枝、针叶生物量异速生长模型, 在植株水平上采用胸径 (DBH)、树高 (H)、年龄 (Age)、树冠长度 (CL)、树冠比率 (CR)、南北向冠幅 ($CW1$)、东西向冠幅 ($CW2$) 等变量建立树干木质、树皮、活枝、针叶、粗根及整株生物量模型。并利用逐步线性回归法获得不同器官生物量最优模型。结果表明: (1) 活枝生物量主要集中在树冠中下层, 针叶生物量集中在树冠中层。树冠中层和下层枝叶生物量无显著差异 ($P>0.05$); (2) 21 株臭冷杉地上生物量和地下生物量变动范围分别为 1.026—506.047 kg/株和 0.241—112.000 kg/株。粗根、活枝、针叶、树干木质、树皮及枯枝生物量占整株生物量的相对比例分别为 18.68%、18.39%、12.02%、39.29%、8.70% 和 2.92%; (3) 地上生物量与地下生物量呈显著线性相关 ($P<0.001$), 拟合线性方程斜率为 0.23; (4) 枝条水平上, 活枝生物量模型解释量超过 95%, 平均预测误差小于 30%。与单变量 (BD) 活枝生物量模型相比, 2 变量 (BD, BL) 和 3 变量 (BD, BL, WP) 模型解释量分别提高 1.2% 和 2.0%, 平均预测误差分别下降 6.26% 和 9.27%。针叶生物量相对较难预测, 模型解释量仅为 82.7%, 平均预测误差接近 50%, 模型中增加 BL 和 WP 变量并未提高针叶生物量的预测精度。活枝生物量与 BD, BL, WP 正相关, 针叶生物量与 BD 正相关, 与 BL, WP 负相关; (5) 植株水平上, 基于胸径的单变量模型可解释量大于 90%, 增加树高变量未能显著提高生物量模型的预测精度。年龄决定了臭冷杉的树干生物量, 忽视年龄变量将会产生生物量预测误差。树冠特征是影响枝叶生物量预测精度的重要变量。综合考虑模型的可解释量及回归系数显著性可知, 胸径是预测臭冷杉不同器官生物量的可靠变量。

关键词: 生物量分配格局; 枝水平; 株水平; 异速生长模型

Biomass allocation patterns and allometric models of *Abies nephrolepis* Maxim

WANG Jinsong, ZHANG Chunyu, FAN Xiuhua*, ZHAO Yazhou

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

Abstract: *Abies nephrolepis* (Maxim) is an important coniferous tree species in the mixed broadleaved-Korean pine forests in the Changbai Mountain. In this study, the above- and belowground biomass allocation patterns of *A. nephrolepis* were analyzed using 21 harvested trees with different diameters at the breast height (DBH). At the branch level, allometric models for live branch and needle biomass were developed based on independent variables of branch diameter (BD), branch length (BL), and whorl position (WP). At the whole tree level, independent variables including DBH , tree height (H), tree age (Age), crown length (CL), crown ratio (CR), south-north crown width ($CW1$), and east-west crown width ($CW2$) were used to develop allometric models for biomass components of stem wood, bark, live branches, needle, coarse roots, and the whole tree. The best fitting models were identified by stepwise regression method. Results show that majority live branch biomass occurred in the middle and lower canopy layers, while the needle biomass was mostly allocated in the middle layer of the tree crown, with no significant difference between the middle and lower layers in the combined biomass of live branches and needle ($P>0.05$). The aboveground biomass and belowground biomass were 1.026—506.047

基金项目: 财政部林业公益性行业科研专项项目 (200904022; 201004002); 国家“十一五”科技支撑项目 (2006BAD03A0804)

收稿日期: 2010-05-02; **修订日期:** 2010-11-17

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

kg/tree and 0.241—112.000 kg/tree, respectively. Relative proportions of coarse roots, live branches, needle, stem wood, bark, and dead branches to total tree biomass were 18.68%, 18.39%, 12.02%, 39.29%, 8.70%, and 2.92%, respectively. There was a significant linear relationship between the aboveground biomass and belowground biomass ($P < 0.001$). Slope of the fitted linear model was 0.23. At the branch level, allometric models of the live branch biomass explained more than 95% of the variations in data and the mean prediction error was less than 30%. Models based on two (i.e. *BD* and *BL*) or three variables (i.e. *BD*, *BL*, and *WP*) were better than the single-variable (i.e. *BD*) model, with the variability explainable increasing by 1.2% and 2.0% and the mean prediction error decreasing by 6.26% and 9.27%, respectively. Needle biomass was more difficult to estimate than the biomass of live branches. Allometric models of needle biomass explained only 82.7% of the data variability, with the mean prediction error reaching 50%. Compared with the allometric model based on a single variable, prediction accuracy improved little when including *BL* and *WP* variables for the needle biomass. The live branch biomass was positively related with *BD*, *BL*, and *WP*; whereas needle biomass was positively related with *BD* and negatively with *BL* and *WP*. At the tree level, the biomass allometric models based on *DBH* explained more than 90% of the data variability. Inclusion of tree height did not always improve biomass estimation. Stem biomass was age-related and biomass estimation without considering tree age could be slightly biased. Crown variables were very important to accurately estimate the biomass of live branches and needle. Considering the variability explainable and the significance of regression coefficient in allometric models, it can be concluded that *DBH* is a reliable predictor for estimating above- and belowground biomass in *A. nephrolepis*.

Key Words: biomass allocation patterns; branch level; tree level; allometric models

全球气候变化已经引起人们对碳储量和碳平衡的广泛关注^[1]。作为陆地生态系统重要碳库,森林生态系统占有整个陆地生态系统地上碳库的 80%^[2]和地下碳库的 40%^[3-4]。因此在当前气候变化条件下掌握植物生物量分配特征有助于了解森林碳储量和碳平衡的动态变化。

通常用于测定树木生物量的方法有皆伐法、平均标准木法、径级标准木法和异速生长模型法等^[5-6]。直接称取树木生物量的方法尽管准确,但是费时、费力且具有巨大的破坏性^[7]。生物量异速生长模型,将简单、易得的预测变量与树木生物量结合起来,为森林生态系统生物量和净生产力的估测提供了一种普遍且可靠的方法^[8]。采用异速生长模型预测树木地上部分生物量已有不少报道^[9-10]。但针对地下部分生物量异速生长模型的研究却比较少^[11-12]。

作为长白山林区主要针叶树种,关于臭冷杉(*Abies nephrolepis* Maxim)针叶化学成分及药用价值已有不少报道^[13-14],但针对臭冷杉生物量分配及异速生长模型研究还未见报道。本文通过整株收获法研究臭冷杉地上地下生物量分配规律并分别在枝水平和株水平上建立不同器官生物量异速生长模型,旨在为生物量估测及异速生长模型优化提供理论依据,为森林乔木层生物量及碳储量估算提供有效的研究方法。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于吉林省白河林业局光明林场 5 号林班内(42°20.907' N, 128°07.988' E, 海拔为 748m)。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℃,最热月 8 月份平均温度 20.5℃,最冷月 1 月份平均温度-16.5℃,极端最高温度 32.3℃,极端最低气温-37.6℃。年降水量为 600—900 mm。土壤为山地暗棕色森林土,土层平均厚度为 20—40 cm。该区原始植被为阔叶红松林,经采伐破坏后形成针叶树种、阔叶树种混交林,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^[15]。

1.2 研究方法

于2008年8月共选择21株不同胸径大小的臭冷杉作为对象木,进行整株挖掘。对象木胸径及树高范围分别为3.4—35.6 cm和2.7—22.1 m。对象木被伐倒前,首先测量其胸径(*DBH*)、南北向冠幅(*CW1*)及东西向冠幅(*CW2*)。距离地面5 cm处将其伐倒,将所有枯枝收集起来,测量每株对象木的树高(*H*)及树冠长度(*CL*)并计算出树冠比率(*CR*),树冠比率定义为 $CR = CL/H$ 。采用Xiao和Ceulemans的方法^[16],记录对象木中每个轮生枝的位置。即从树冠顶部向下第一个轮生枝位置记为 WP_1 ,第二个记为 WP_2 ,往下以此类推,直至离地面最近轮生枝(WP_n)。根据对象木径级差异将对象木划分为3个径级。各径级对象木的基本特征如表1所示。

表1 21株对象木基本特征
Table 1 Basic characteristics of 21 sample trees

径级 <i>DBH</i> classes	株数/株 Numbers	胸径/cm Diameter	树高/m Tree height	年龄/a Tree age	树冠长度/m Crown length	南北向冠幅/m South-north crown width	东西向冠幅/m East-west crown width
$1 \leq DBH < 10 \text{ cm}$	9	3.4—9.9	2.7—9.7	18—31	1.6—7.5	2.3—3.7	2.3—3.0
$10 \leq DBH < 20 \text{ cm}$	6	10.9—19.9	10.3—17.2	43—65	6.3—11.6	3.6—5.5	2.6—4.1
$DBH \geq 20 \text{ cm}$	6	21.0—35.6	18.9—22.1	82—125	12.7—14.0	5.6—7.5	4.3—6.5

采用Peichl和Arain的方法^[17],将整个树冠划分为上、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。每层各取2个不同直径大小的样枝,取样方法为:若该层有 n 个轮生枝,第1个样枝在第 r 个轮生枝中任意取,第2个样枝则取自第 $(n+1-r)$ 轮,保证两个样枝分别位于相反方向且距离该层中心距离相等(图1)^[18]。取样的同时记录样枝所在轮生枝位置(WP)。最后共收集126个样枝,带回实验室用游标卡尺及卷尺测量每个样枝的直径(BD)和长度(BL)。将样枝针叶和活枝分离后于85℃下分别烘干至恒重,称重。

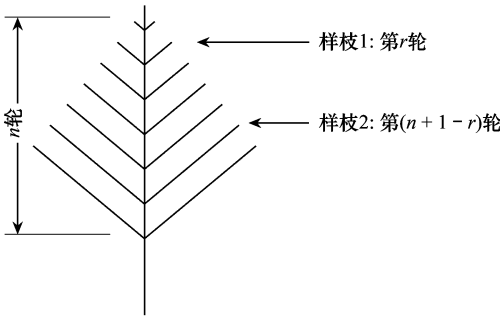


图1 树冠某层中样枝取样示意图
Fig. 1 The map of sample branches in a special layer of the crown

待枝叶与树干分离后,将整个树干分成等长的10部分并称量各部分鲜重,各部分分别于上部和底部各取一个圆盘作为鲜样带回实验室分析以计算鲜样干重/湿重比,将每个圆盘的树皮与树干木质分离开以计算树皮/树干木质比,然后将二者于85℃下分别烘至恒重,称重。根据鲜样干重/湿重比及树皮/树干木质比推算出整株对象木树皮及树干的干重。

由于细根(<5 mm)^[19]对根系总生物量的影响不大且挖掘出来非常不现实,所以只对每株对象木的粗根(>5 mm)进行挖掘。每株对象木分别取500—1000 g粗根鲜样装入保鲜袋中带回实验室,用流动水浸泡、漂洗,于85℃烘至恒重,称重。根据鲜样干重/湿重比推算整株对象木粗根干重。在每株对象木基部分别截取一个5 cm厚圆盘,带回实验室利用Lintab5年轮分析仪测定其年轮宽度并进行定年。

1.3 数据分析

采用非线性方程建立臭冷杉各器官生物量异速生长模型^[20]:

$$Y = a_0 X_1^{p_1} X_2^{p_2} X_3^{p_3} \cdots X_n^{p_n} \theta \tag{1}$$

式中, Y 为生物量, X 为独立变量, a_0 — p_n 为方程参数, θ 为倍增误差项。为消除异方差性,将方程进行对数转换:

$$\ln Y = p_0 + p_1 \ln X_1 + p_2 \ln X_2 + p_3 \ln X_3 + \cdots + p_n \ln X_n + \varepsilon \tag{2}$$

式中, $p_0 = \ln a_0$, $\varepsilon = \ln \theta$ 。利用最小二乘法估计回归系数。为减小对数转换产生的偏差影响^[21-23], 采用校正系数 λ 校正后获得生物量无偏估计值^[24]:

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{\sum_{i=1}^n e^{\ln \hat{Y}_i}} \quad (3)$$

式中, n 为对象木个数; Y_i 、 $\hat{Y}_i$ 分别为生物量观测值和预测值。引进校正系数 λ 后, 生物量无偏估计值为:

$$\hat{Y} = \lambda \times \exp(p_0 + p_1 \ln X_1 + p_2 \ln X_2 + p_3 \ln X_3 + \cdots + p_n \ln X_n) \quad (4)$$

在枝水平上, 采用样枝直径 (BD)、样枝长度 (BL) 及样枝所在轮生枝位置 (WP) 建立活枝生物量、针叶生物量异速生长模型; 在株水平上, 采用胸径 (DBH)、树高 (H)、年龄 (Age)、树冠长度 (CL)、树冠比率 (CR)、南北向冠幅 ($CW1$) 及东西向冠幅 ($CW2$) 建立不同器官生物量异速生长模型并利用逐步线性回归法得出最优模型。利用调整决定系数 R_{adj}^2 和平均预测误差 MPE (%) 估计模型拟合优度^[25]。平均预测误差 MPE 计算公式为:

$$MPE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i| / Y_i \quad (5)$$

2 结果与分析

2.1 生物量分配格局

臭冷杉活枝生物量、针叶生物量在整个树冠的垂直分布如图 2 所示。活枝生物量主要集中于树冠中下层。Wilcoxon 非参数检验显示: 树冠上层活枝生物量显著低于中下层 ($P < 0.05$), 而树冠中层和下层的活枝生物量分布无显著差异 ($P > 0.05$); 针叶生物量主要集中于树冠中层。Wilcoxon 非参数检验显示: 树冠上层和下层针叶生物量显著低于中层 ($P < 0.05$), 而树冠上层和下层的针叶生物量分布无显著差异 ($P > 0.05$); 总体上, 臭冷杉枝叶生物量集中于树冠中下层, 且树冠中层和下层分布无显著差异 ($P > 0.05$)。

本文所选 21 株臭冷杉地上生物量及地下生物量大小范围分别为 1.026—506.047 kg/株 和 0.241—112.000 kg/株。臭冷杉不同器官生物量相对分配比例如图 3 所示。粗根生物量、活枝生物量、针叶生物量、树干木质生物量、树皮生物量及枯枝生物量占整株生物量的相对比例分别为 $(18.68 \pm 0.69)\%$ 、 $(18.39 \pm 0.89)\%$ 、 $(12.02 \pm 0.92)\%$ 、 $(39.29 \pm 1.49)\%$ 、 $(8.70 \pm 0.37)\%$ 和 $(2.92 \pm 0.38)\%$ 。臭冷杉地上生物量与地下生物量之间的 Person 相关系数高达 0.984 ($P < 0.001$), 二者呈显著线性相关且拟合方程的斜率为 0.23 (图 4)。

2.2 枝水平上生物量异速生长模型

根据方程 (4), 建立枝水平上生物量异速生长模型: $\hat{Y} = \lambda \times \exp(p_0 + p_1 \ln BD + p_2 \ln BL + p_3 \ln WP)$ 。分别采用单变量 (BD)、2 个变量 (BD 、 BL) 及 3 个变量 (BD 、 BL 、 WP) 建立活枝生物量、针叶生物量异速生长模型。如表 2 所示, 所有模型总体回归 F 检验均显著 ($P < 0.001$)。活枝生物量所有模型可解释量均超过了

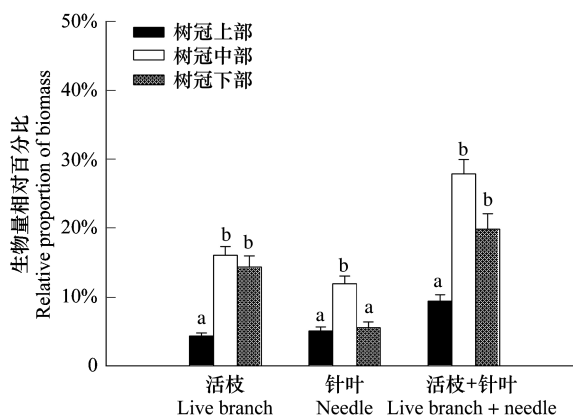


图 2 活枝及针叶生物量在整个树冠中的垂直分布

Fig. 2 Vertical distribution of live branch biomass, of needle biomass and of their total amount in different layers of the crown
生物量相对百分比 (%) 表示为不同器官生物量占整个树冠生物量的百分比, 误差项为标准误差且不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)

95% 且平均预测误差不超过 30%。2 变量和 3 变量模型的拟合效果均优于单变量,模型可解释量分别提高 1.2% 和 2.0%,平均预测误差则分别下降 6.26% 和 9.27%。针叶生物量模型的预测效果相对较差,模型可解释量均为 82.7% 且平均预测误差接近 50%。与单变量相比,2 变量及 3 变量模型的可解释量并未提高且平均预测误差下降也不明显。另外活枝生物量与 3 个预测变量均呈正相关;针叶生物量与样枝直径呈正相关,而与样枝长度及样枝所在轮生枝位置均呈负相关(表 2)。

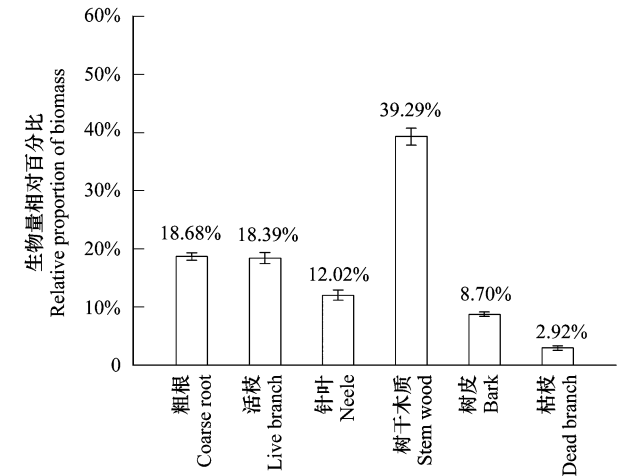


图 3 臭冷杉不同器官生物量相对分配比例

Fig. 3 Relative biomass allocation of the different components (mean and SE bar)

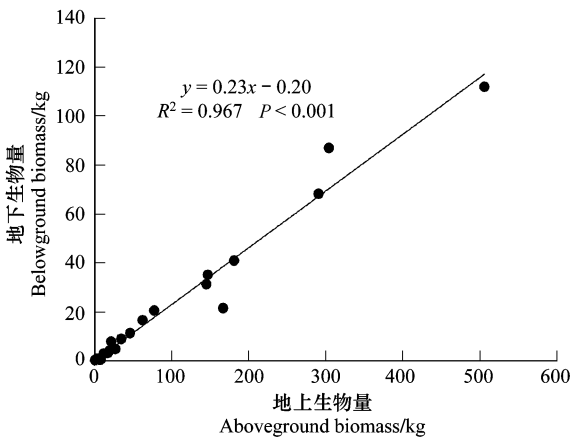


图 4 地上生物量与地下生物量的关系

Fig. 4 The relationship between aboveground biomass and belowground biomass

表 2 枝水平上活枝生物量、针叶生物量异速生长模型

Table 2 Allometric models for live branch and needle biomass at the branch level								
生物量/kg Biomass	系数 Coefficients				R^2_{adj}	显著性 Sig.	λ	MPE
	p_0	p_1	p_2	p_3				
活枝 Live branch	3.398 ***	2.733 ***	—	—	0.951	$P < 0.001$	1.018	29.29
	3.470 ***	2.164 ***	0.588 ***	—	0.963	$P < 0.001$	1.027	23.03
	2.860 ***	2.290 ***	0.249 *	0.278 ***	0.971	$P < 0.001$	1.014	20.02
针叶 Needle	3.298 ***	2.041 ***	—	—	0.827	$P < 0.001$	1.035	47.30
	3.282 ***	2.167 ***	-0.131 ns	—	0.827	$P < 0.001$	1.032	46.90
	3.480 ***	2.126 ***	-0.021 ns	-0.090 ns	0.827	$P < 0.001$	1.032	46.70

* 在 0.05 水平上差异显著; ** 在 0.01 水平上差异显著; *** 在 0.001 水平上差异显著; ns 在 0.05 水平上差异不显著

2.3 株水平上生物量异速生长模型

臭冷杉不同器官生物量与胸径、树高、年龄、树冠长度、南北向冠幅及东西向冠幅的关系如图 5 所示。不同器官生物量与不同变量均呈显著指数相关($P < 0.01$)。模型的调整决定系数如表 3 所示,除利用南北向冠幅拟合活枝生物量所得到的调整决定系数大于利用胸径拟合外,胸径对不同器官生物量拟合效果均优于其他变量。

根据方程(4),建立株水平上生物量异速生长模型: $\hat{Y} = \lambda \times \exp(p_0 + p_1 \ln DBH + p_2 \ln H + p_3 \ln Age + p_4 \ln CL + p_5 \ln CR + p_6 \ln CW1 + p_7 \ln CW2)$ 。分别采用单变量(DBH)、2 个变量(DBH 、 H)建立生物量模型及利用逐步线性回归法采用多个变量(DBH 、 H 、 Age 、 CL 、 CR 、 $CW1$ 、 $CW2$)建立臭冷杉不同器官生物量最优模型。如表 4 所示,所有模型 F 检验均显著($P < 0.001$)。基于胸径的单变量模型可解释量均超过了 90%。其中树干木质生物量、树皮生物量、粗根生物量及整株生物量所有模型可解释量均超过了 98%,平均预测误差不超过 20%。活枝生物量所有模型可解释量范围为 97%—98%,平均预测误差范围为 18%—22%。针叶生物量所有模型

可解释量范围为 94%—97%,平均预测误差介于 22%—31% 之间。

表 3 利用不同变量拟合各器官生物量的调整决定系数

Table 3 Adjusted coefficients of determination in models ($Y = aX^b$) for each component biomass Y (Stem wood + Bark, Live branch, Needle and Coarse root) with six different variables X

生物量/kg Biomass	变量 Variables					
	胸径/cm Diameter	树高/m Tree height	年龄/a Tree age	树冠长度/m Crown length	南北向冠幅/m South-north crown width	东西向冠幅/m East-west crown width
树干 Stem wood + Bark	0.952 ***	0.924 ***	0.744 ***	0.776 ***	0.806 ***	0.731 ***
活枝 Live branch	0.925 ***	0.679 ***	0.708 ***	0.687 ***	0.945 ***	0.854 ***
针叶 Needle	0.846 ***	0.689 ***	0.373 **	0.726 ***	0.802 ***	0.711 ***
粗根 Coarse root	0.993 ***	0.781 ***	0.754 ***	0.752 ***	0.917 ***	0.853 ***

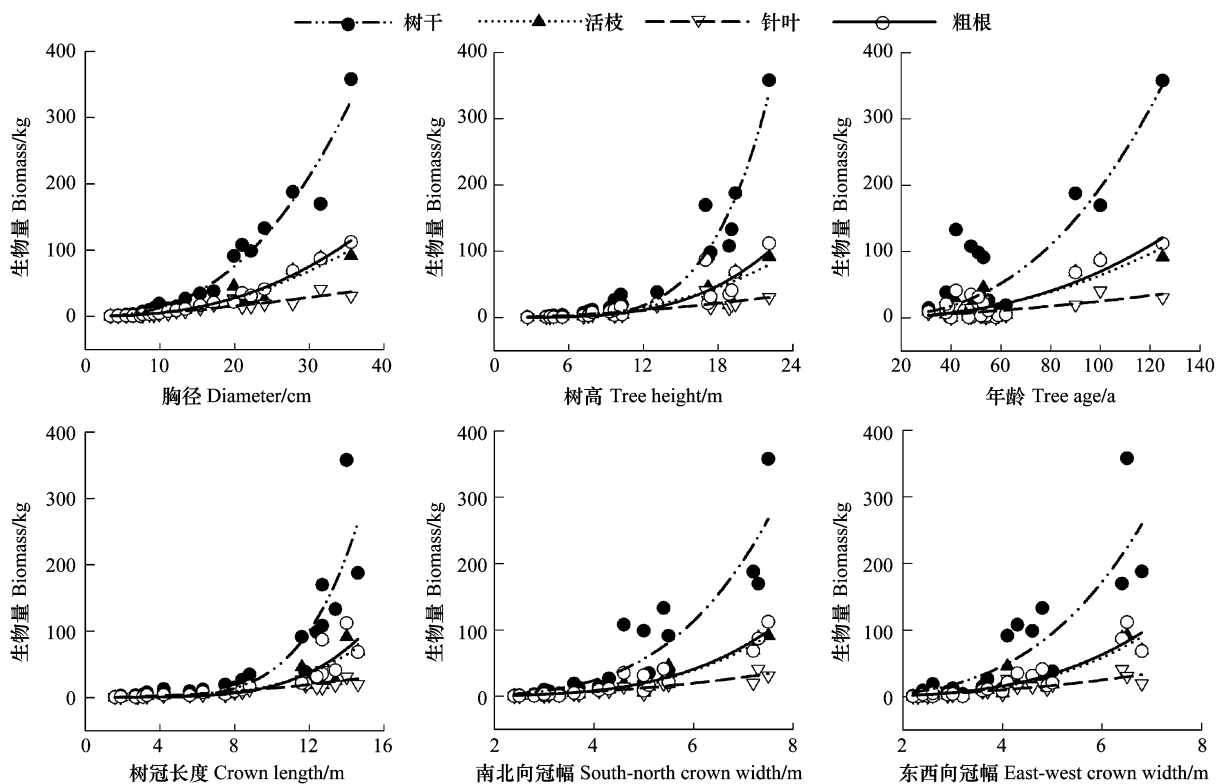


图 5 各器官生物量与胸径、树高、年龄、树冠长度、南北向冠幅及东西向冠幅的关系

Fig. 5 Relationships between each component biomass with diameter, tree height, tree age, crown length, south-north crown width and east-west crown width

胸径基础上,引进树高作为第 2 个变量对不同器官生物量模型预测效果的提高并不理想。其中树干木质生物量、树皮生物量及整株生物量模型可解释量有所提高,平均预测误差也有所下降且引进树高对树干木质生物量预测精度的提高相对较明显。而引进树高对活枝生物量、针叶生物量及粗根生物量预测精度的提高并不明显,模型可解释量没有提高反而有所下降且平均预测误差下降也不明显。

如表 4 所示,采用逐步线性回归法根据多个变量建立了不同器官生物量最优模型。利用胸径、树高及年龄可获得树干木质生物量及树皮生物量最优模型,而树冠特征变量对活枝生物量、针叶生物量的准确预测较重要。

表 4 株水平上各器官生物量异速生长模型

Table 4 Allometric models for each component biomass at the tree level

生物量/kg Biomass	P_0	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	R^2_{adj}	P	λ	MPE
树干木质	-3.950 ***	2.694 ***	—	—	—	—	—	—	0.980	$P<0.001$	0.966	19.53
Stem wood	-4.063 ***	1.377 ***	1.504 ***	—	—	—	—	—	0.995	$P<0.001$	1.017	9.94
	-4.778 ***	1.294 ***	1.546 ***	0.207 *	—	—	—	—	0.996	$P<0.001$	0.993	8.17
树皮	-5.204 ***	2.591 ***	—	—	—	—	—	—	0.981	$P<0.001$	1.069	18.33
Bark	-5.269 ***	1.840 ***	0.858 *	—	—	—	—	—	0.986	$P<0.001$	1.104	16.02
	-6.842 ***	1.658 ***	0.952 **	0.457 ***	—	—	—	—	0.992	$P<0.001$	1.020	11.04
活枝	-4.238 ***	2.501 ***	—	—	—	—	—	—	0.974	$P<0.001$	0.993	21.76
Live branch	-4.235 ***	2.540 ***	-0.044ns	—	—	—	—	—	0.972	$P<0.001$	0.990	21.64
	-3.984 ***	1.755 *	0.374ns	—	—	0.503ns	0.674 *	—	0.975	$P<0.001$	1.022	18.41
针叶	-4.245 ***	2.322 ***	—	—	—	—	—	—	0.946	$P<0.001$	0.906	30.61
Needle	-4.260 ***	2.155 ***	0.191ns	—	—	—	—	—	0.943	$P<0.001$	0.912	30.75
	-1.786 *	3.569 **	-0.794ns	-0.741 *	—	—	1.329 *	-2.111ns	0.963	$P<0.001$	0.981	22.50
粗根	-4.460 ***	2.601 ***	—	—	—	—	—	—	0.992	$P<0.001$	0.963	12.40
Coarse root	-4.468 ***	2.507 ***	0.108ns	—	—	—	—	—	0.991	$P<0.001$	0.966	12.04
	-4.306 ***	2.409 ***	0.182ns	—	—	0.212ns	—	—	0.991	$P<0.001$	0.978	11.51
整株	-2.739 ***	2.589 ***	—	—	—	—	—	—	0.993	$P<0.001$	0.955	11.34
Total tree	-2.792 ***	1.970 ***	0.707 **	—	—	—	—	—	0.997	$P<0.001$	0.981	8.20
	-2.766 ***	2.275 ***	0.526 *	—	—	—	—	-0.292ns	0.997	$P<0.001$	0.983	7.51

3 讨论

3.1 生物量分配格局

生物量是植物积累能量的主要体现,其分配方式受外界环境、植株年龄及植株大小限制^[26-27]。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^[28]。臭冷杉针叶的垂直分布状况直接影响其自身的光合作用以及生长过程。而树冠所截取的太阳辐射量及太阳辐射量在树冠中分配状况又会反过来影响枝叶的垂直分布。通常高达 70% 的光照被森林林冠上层截获,仅 3%—10% 的光照能够到达森林地被层,并且树冠从上层到下层所获得的光照逐渐减小^[29]。针叶生长受光照影响较大,针叶分布则与枝条着生位置、树高和树冠疏密程度相关。树冠下层的活枝虽然直径较大,但由于获得光照较少,导致着生于枝条上的针叶量也相应减少。因此臭冷杉针叶生物量主要集中在树冠中层,而上层和下层分布则无显著差异。活枝受光照影响不大,而且越靠近树冠下层的活枝生物量累计时间越长^[16]。所以,活枝生物量主要集中于树冠中下层,而树冠上层生物量分布相对较少。已有研究表明,火炬松最大活枝生物量主要集中在树冠基部向上 20% 长度处^[30],并且火炬松幼树针叶在整个树冠中的垂直分布服从韦布尔分布^[31]。本文得到了类似的结果。

植株不同部位的生物量分配也是不均匀的。通常死体生物量占总生物量的 9%,地下生物量占 21%,而地上活生物量高达 70% 左右^[32]。本研究中,臭冷杉树干木质生物量、树皮生物量占整株生物量的比例分别为 39.29% 和 8.70%,二者合计达 47.99%,而其他针叶树种研究结果表明,树干生物量占整株生物量的比例范围为 25%—76%^[16-17],本文研究结果与之相符。同时臭冷杉地上生物量占整株生物量比例为 81.32%,也与 Vanninen 等研究结果相近(67%—89%)^[33]。树木地下生物量与地上生物量在单木水平和林分水平上均存在线性关系^[34]。Kurz 利用 260 个温带和北方针叶林样地生物量数据,研究粗根生物量与地上生物量关系,拟合得到斜率为 0.23 的线性方程^[35]。本文臭冷杉地上生物量与地下生物量线性方程斜率亦为 0.23,研究结果与之惊人一致。徐振邦等推算了长白山阔叶红松林中红松、色木槭、紫椴、水曲柳、蒙古栎地上地下生物量比^[36]。本研究推算臭冷杉地上生物量与地下生物量比为 43.5:10,该比值对于估计臭冷杉地下生物量具有重要参考价值。

3.2 枝水平上生物量异速生长模型

枝水平上,通常利用样枝直径、样枝长度及样枝所在轮生枝位置作为主要变量预测针叶树种枝叶生物量^[37],进而预测整个树冠生物量。已有研究表明,样枝直径、样枝长度及样枝在树冠中的相对高度可作为火炬松^[38]、北美黄杉^[39]和苏格兰松^[40]枝叶生物量预测的重要因子。本文结果显示,3 变量模型为预测臭冷杉活枝生物量的最优模型,而考虑模型可解释量及平均预测误差时,基于样枝直径的单变量模型即可较好地预测臭冷杉针叶生物量。与活枝生物量相比,臭冷杉针叶生物量相对较难预测,可能与针叶受光照、水分、营养及土壤条件影响较大有关^[41]。另外,由于越靠近树冠下层,所取样枝长度逐渐增大,但针叶所获取的光照逐渐减少,每个样枝上着生的针叶也逐渐减少,导致采用 3 变量模型预测针叶生物量时,针叶生物量与样枝长度、样枝所在轮生枝位置均呈负相关。

3.3 株水平上生物量异速生长模型

由于根系挖掘工作量大且挖掘整个地下根系存在巨大的困难,异速生长模型研究主要集中于地上生物量^[42-44],而根桩、粗根等地下生物量研究则较少。研究显示,与其他预测变量相比,胸径对臭冷杉不同器官生物量的预测效果最好,这与前人研究结果一致^[8,36,45-46]。

许多异速生长模型在胸径基础上引进树高作为第 2 个变量预测树木各器官生物量^[47-48]。本文引进树高使臭冷杉树干木质生物量、树皮生物量异速生长模型的可解释量有所提高,但效果不明显。而对其他器官生物量的预测效果并不理想,这与 Jenkins 等^[49]对美国主要树种生物量模型和 Cienciala 等^[42]对欧洲中部苏格兰松生物量模型的研究结论一致。而 Wagner 和 Ter-Mikaelian 研究发现,引进树高作为第二个变量使美国五针松树干生物量预测效果有所提高,而对根系生物量影响不大^[47]。本文得到了类似结果。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^[50]。另外,在实际工作中也很少应用树高作为预测因子^[41,51],因为与胸径相比,树高数据获得费时费力且准确性不高,由于测量树高时存在误差,增加变量树高将使模型增加新的变异^[52-53]。

增加变量年龄可获得臭冷杉树干木质及树皮生物量最优模型。该结果表明,树木年龄决定着臭冷杉树干生物量,原因可能是不同生长阶段臭冷杉地上地下生物量分配存在差异。因此在建立臭冷杉树干生物量异速生长模型时,如忽视树木年龄可能会导致一定的预测误差。而增加树冠特征变量可较准确地预测臭冷杉活枝生物量和针叶生物量。苏格兰松及火炬松研究结果表明,树冠特征变量对其活枝生物量、针叶生物量预测非常重要^[16,54],本文得到了相同结果。

最优生物量模型的获取取决于实际应用和不同变量的可获得性^[42]。模型中引进较多变量可一定程度上提高异速生长模型预测精度,但过多变量往往会增加实际调查难度,降低模型的实用性^[55]。因此建立生物量异速生长模型时,需要在统计学上与实际应用之间找到平衡点。综合考虑异速生长模型的可解释量及回归系数的显著性,我们认为利用胸径即可较好地预测臭冷杉各器官生物量。另外,由于胸径信息获取简单,基于胸径的单变量预测模型更易于应用在生产实践中。

References:

- [1] Landsberg J J, Linder S, McMurtrie R E. Effects of global change on managed forests: a strategic plan for research on managed forest ecosystems in a globally changing environment//Global Change and Terrestrial Ecosystems Report. Canberra: Core Project of the IGBP, 1995: 1-17.
- [2] Waring R H, Running S W. Forest Ecosystems: Analysis at Multiple Scales. San Diego, California: Academic Press, 1998.
- [3] Dixon R K, Trexler M C, Wisniewski J, Brown S, Houghton R A, Solomon A M. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. Science, 1994, 263(5144): 185-190.
- [4] Goodale C L, Heath L S, Houghton R A, Jenkins J C, Kohlmaier G H, Kurz W, Liu S R, Nabuurs G J, Nilsson S, Shvidenko A Z, Apps M J, Birdsey R A, Field C B. Forest carbon sinks in the Northern Hemisphere. Ecological Applications, 2002, 12(3): 891-899.
- [5] Yu G R. Global Change and Carbon Circulation and Accumulation of Terrestrial Ecosystem. Beijing: China Meteorological Press, 2003: 157-158.
- [6] Dong M. Survey, Observation and Analysis of Terrestrial Bio-communities. Beijing: China Standards Press, 1997: 73-75.
- [7] Liu Q J. Nested regression for establishing tree biomass equations. Chinese Journal of Plant Ecology, 2009, 33(2): 331-337.
- [8] Niklas K J. Plant Allometry: The Scaling of Form and Process. Chicago, Illinois: University of Chicago Press, 1994.

- [9] Feng Z W, Chen C Y, Zhang J W, Wang K P, Zhao J L, Gao H. Determination on biomass of pinus massoniana plantation in Huitong area of Hunan Province. *Scientia Silvae Sinicae*, 1982, 18(2): 127-134.
- [10] Ma Q Y. Investigation on biomass of Pinus tabulaeformis in China. *Journal of Beijing Forestry University*, 1989, 11(4): 1-10.
- [11] Wen D Z, Wei P, Kong G H, Zhang Q M, Huang Z L. Biomass study of the community of Castanopsis chinensis+Cryptocarya concinna+Schima superba in a southern China reserve. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, 17(5): 497-504.
- [12] van Lear D H, Kapeluck P R. Above-and below-stump biomass and nutrient content of a mature loblolly pine plantation. *Canadian Journal of Forest Research*, 1995, 25(2): 361-367.
- [13] Li R, Jiang Z T, Yu J C. Essential oil composition of the needles of *Abies nephrolepis* Maxim from China. *Flavour and Fragrance Journal*, 2005, 20(5): 534-536.
- [14] Yang Z Y, Jiang Z T, Gu J X, Liang Z J, Wang X F. Studies on the chemical constituents of the volatile oil of *Abies nephrolepis* Maxim leaves. *Journal of Integrative Plant Biology*, 1990, 32(2): 133-136.
- [15] Zhang C Y, Zhao X H. Spatial points pattern analysis using random square-quadrats method. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(7): 3108-3115.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] Kleijnen J P C. *Statistical Techniques in Simulation*. Part I. New York: Marcel Dekker, Inc, 1974.
- [19] 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.
- [20] Cienciala E, Černý M, Apltauer J, Exnerová Z. Biomass functions applicable to European beech. *Journal of Forest Science*, 2005, 51(4): 147-154.
- [21] Sprugel D G. Correcting for bias in log-transformed allometric equations. *Ecology*, 1983, 64(1): 209-210.
- [22] Zar J H. *Biostatistical Analysis*. Englewood Cliffs NJ: Prentice Hall, 1983.
- [23] Baskerville G L. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass. *Canadian Journal of Forest Research*, 1972, 2(1): 49-53.
- [24] Marklund L G. Biomass Functions for Norway Spruce (*Picea abies* L. Karst.) in Sweden. Umea: Department of Forest Survey, Swedish University of Agricultural Science, 1987, 43: 127-127.
- [25] Nelson B W, Mesquita R, Pereira J L G, de Souza S G A, Batista G T, Couto L B. Allometric regressions for improved estimate of secondary forest biomass in the central Amazon. *Forest Ecology and Management*, 1999, 117(1/3): 149-167.
- [26] Mokany K, Raison R J, Prokushkin A S. Critical analysis of root:shoot ratios in terrestrial biomass. *Global Change Biology*, 2006, 12(1): 84-96.
- [27] Schmid I. The influence of soil type and interspecific competition on the fine root system of Norway spruce and European beech. *Basic and Applied Ecology*, 2002, 3(4): 339-346.
- [28] Lewis S L, Tanner E V J. Effects of above- and belowground competition on growth and survival of rain forest tree seedlings. *Ecology*, 2000, 81(9): 2525-2538.
- [29] Brix H. Effects of thinning and nitrogen fertilization on branch and foliage production in Douglas-fir. *Canadian Journal of Forest Research*, 1981, 11(3): 205-211.
- [30] Hepp T E, Brister G H. Estimating crown biomass in loblolly pine plantations in the Carolina flatwoods. *Forest Science*, 1982, 28(1): 115-127.
- [31] Gillespie A R, Allen H L, Vose J M. Amount and vertical distribution of foliage of young loblolly pine trees as affected by canopy position and silvicultural treatment. *Canadian Journal of Forest Research*, 1994, 24(7): 1337-1344.
- [32] Houghton R A, Lawrence K T, Hackler J L, Brown S. The spatial distribution of forest biomass in the Brazilian Amazon; a comparison of estimates. *Global Change Biology*, 2001, 7(7): 731-746.
- [33] 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.
- [34] Brown S. Measuring carbon in forests: current status and future challenges. *Environmental Pollution*, 2002, 116(3): 363-372.
- [35] Kurz W A, Beukema S J, Apps M J. Estimation of root biomass and dynamics for the carbon budget model of the Canadian Forest Sector. *Canadian Journal of Forest Research*, 1996, 26(11): 1973-1979.
- [36] Xu Z B, Li X, Dai H C. Study on biological production of broad-leaved and Korean pine mixed forests of Changbai Mountain. *Forest Ecosystem Research*, 1985, 5: 33-46.
- [37] Monserud R A, Marshall J D. Allometric crown relations in three northern Idaho conifer species. *Canadian Journal of Forest Research*, 1999, 29(5): 521-535.
- [38] Blazier M A, Hennessey T C, Lynch T B, Wittwer R F. Comparison of branch biomass relationships for North Carolina and Oklahoma/Arkansas loblolly pine seed sources growing in southeastern Oklahoma. *Forest Ecology and Management*, 2002, 159(3): 241-248.
- [39] Ishii H, Wilson M E. Crown structure of old-growth Douglas-fir in the western Cascade Range, Washington. *Canadian Journal of Forest Research*, 2001, 31(7): 1250-1261.
- [40] Helmisaari H S, Makkonen K, Kellomäki S, Valtonen E, Mälkönen E. Below- and above-ground biomass, production and nitrogen use in Scots

- pine stands in eastern Finland. *Forest Ecology and Management*, 2002, 165(1/3): 317-326.
- [41] Bond-Lamberty B, Wang C, Gower S T. Aboveground and belowground biomass and sapwood area allometric equations for six boreal tree species of northern Manitoba. *Canadian Journal of Forest Research*, 2002, 32(8): 1441-1450.
- [42] Cienciala E, Černý M, Tatarinov F, Apltauer J, Exnerová Z. Biomass functions applicable to Scots pine. *Trees*, 2006, 20(4): 483-495.
- [43] Wang C, Jin Y H, Jing C D, Liu J S, Jing Y S. Individual biomass of natural *Pinus densiflora*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(1): 5-8.
- [44] Jiang P, Ye J, Wu G. Woody species composition and biomass of main tree species in a 25 hm² plot of broad-leaved and Korean pine mixed forests of Changbai Mountain, northeast China. *Journal of Beijing Forestry University*, 2005, 27(S2): 112-115.
- [45] Ketterings Q M, Coe R, van Noordwijk M, Ambagau Y, Palm C A. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management*, 2001, 146(1/3): 199-209.
- [46] 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.
- [47] 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.
- [48] Peichl M, Altaf A M. 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.
- [49] Jenkins J C, Chojnacky D C, Heath L S, Birdsey R A. National - scale biomass estimators for United States tree species. *Forest Science*, 2003, 49(1): 12-35.
- [50] Hochbichler E, Bellos P, Lick E. Biomass functions for estimating needle and branch biomass of spruce (*Picea Abies*) and Scots pine (*Pinus Sylvestris*) and branch biomass of beech (*Fagus sylvatica*) and oak (*Quercus robur* and *petrea*). *Australian Journal of Forest Science*, 2006, 123(1/2): 35-46.
- [51] Pastor J, Aber J D, Melillo J M. Biomass prediction using generalized allometric regressions for some northeast tree species. *Forest Ecology and Management*, 1984, 7(4): 265-274.
- [52] Mowrer H T, Frayer W E. Variance propagation in growth and yield projections. *Canadian Journal of Forest Research*, 1986, 16(6): 1196-1200.
- [53] 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.
- [54] Baldwin V C Jr, Peterson K D, Burkhart H E, Amateis R L, Dougherty P M. Equations for estimating loblolly pine branch and foliage weight and surface area distribution. *Canadian Journal of Forest Research*, 1997, 27(6): 918-927.
- [55] Wirth C, Schumacher J, Schulze E D. Generic biomass functions for Norway spruce in Central Europea — a meta-analysis approach toward prediction and uncertainty estimation. *Tree Physiology*, 2004, 24(2): 121-139.

参考文献:

- [5] 于贵瑞. 全球变化与陆地生态系统碳循环和碳蓄积. 北京: 气象出版社, 2003: 157-158.
- [6] 董鸣. 陆地生物群落调查观测与分析. 北京: 中国标准出版社, 1997: 73-75.
- [7] 刘琪璟. 嵌套式回归建立树木生物量模型. *植物生态学报*, 2009, 33(2): 331-337.
- [9] 冯宗炜, 陈楚莹, 张家武, 王开平, 赵吉录, 高虹. 湖南会同地区马尾松林生物量的测定. *林业科学*, 1982, 18(2): 127-134.
- [10] 马钦彦. 中国油松生物量的研究. *北京林业大学学报*, 1989, 11(4): 1-10.
- [11] 温达志, 魏平, 孔国辉, 张倩媚, 黄忠良. 鼎湖山锥栗+黄果厚壳桂+荷木群落生物量及其特征. *生态学报*, 1997, 17(5): 497-504.
- [14] 杨智蕴, 姜子涛, 顾景贤, 梁兆君, 王新甫. 臭冷杉针叶挥发油化学成分研究. *植物学报*, 1990, 32(2): 133-136.
- [15] 张春雨, 赵秀海. 随机区块法在空间点格局分析中的应用. *生态学报*, 2008, 28(7): 3108-3115.
- [36] 徐振邦, 李昕, 戴洪才. 长白山阔叶红松林生物生产力的研究. *森林生态系统研究*, 1985, 5: 33-46.
- [43] 王成, 金永焕, 金春德, 刘继生, 金玉善. 天然赤松个体生物量的研究. *应用生态学报*, 2000, 11(1): 5-8.
- [44] 姜萍, 叶吉, 吴钢. 长白山阔叶红松林大样地木本植物组成及主要树种的生物量. *北京林业大学学报*, 2005, 27(S2): 112-115.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 14 July, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

The sensitivity of Xiamen's three industrial sectors to land use changes	HUANG Jing, CUI Shenghui, LI Fangyi, et al (3863)
Desertification and change of landscape pattern in the Source Region of Yellow River	 HU Guangyin, DONG Zhibao, LU Junfeng, et al (3872)
Comparison of ecological significance of landscape diversity changes in karst mountains: a case study of 4 typical karst area in Guizhou Province	 LUO Guangjie, LI Yangbing, WANG Shijie, et al (3882)
Analysis on urban heat island effect based on the dynamics of urban surface biophysical descriptors	 XU Hanqiu (3890)
Primary exploration on the ecological land use classification in Beijing	TANG Xiumei, CHEN Baiming, LU Qingbin, et al (3902)
Changes of spectral reflectance of <i>Pinus koraiensis</i> and <i>Abies nephrolepis</i> along altitudinal gradients in Changbai Mountain	 FAN Xiuhua, LIU Weiguo, LU Wenmin, et al (3910)
Biomass allocation patterns and allometric models of <i>Abies nephrolepis</i> Maxim	 WANG Jinsong, ZHANG Chunyu, FAN Xiuhua, et al (3918)
Niche analysis of dominant species of macrobenthic community at a tidal flat of Yushan Island	 JIAO Haifeng, SHI Huixiong, YOU Zhongjie, et al (3928)
The influence of different food qualities on the energy budget and digestive tract morphology of Tree Sparrows <i>passer montanus</i>	 YANG Zhihong, SHAO Shuli (3937)
The response of ecosystem service values to ambient environment and its spatial scales in typical karst areas of northwest Guangxi, China	 ZHANG Mingyang, WANG Kelin, LIU Huiyu, et al (3947)
Root morphology characteristics under alternate furrow irrigation	LI Caixia, SUN Jingsheng, ZHOU Xinguo, et al (3956)
Allelopathy of the root exudates from different resistant eggplants to verticillium wilt (<i>Verticillium dahliae</i> Kleb.)	 ZHOU Baoli, CHEN Zhixia, DU Liang, et al (3964)
Biological cycle and accumulation of lanthanum in the forage-mushroom-soil system	 WENG Boqi, JIANG Zhaowei, WANG Yixiang, et al (3973)
Evaluation of soil loss and transportation load of adsorption N and P in Poyang Lake watershed	 YU Jinxiang, ZHENG Bofu, LIU Yafei, et al (3980)
Effects of soil resource availabilities on vertical distribution and dynamics of fine roots in a <i>Caragana korshinskii</i> plantation	 SHI Jianwei, WANG Mengben, CHEN Jianwen, et al (3990)
Effects of soil salinization on ammonia volatilization characteristics of urea and urea phosphate	 LIANG Fei, TIAN Changyan (3999)
Distribution of marine bacteria and their environmental factors in Xiangshan Bay	 YANG Jifang, WANG Haili, CHEN Fusheng, et al (4007)
Concentration of O ₃ at the atmospheric surface affects the changes characters of antioxidant enzyme activities in <i>Triticum aestivum</i>	 WU Fangfang, ZHENG Youfei, WU Rongjun, et al (4019)
Effects of inhibitor and safener on enzyme activity and phenanthrene metabolism in root of tall fescue	 GONG Shuaishuai, HAN Jin, GAO Yanzheng, et al (4027)
Screening of highly-effective rhizobial strains on Alfalfa (<i>Medicago polymorpha</i>) in soil	 LIU Xiaoyun, GUO Zhenguo, LI Qiaoxian, et al (4034)
Geochemical evolution processes of soil major elements in the forest-dominated Jinshui River Basin, the upper Hanjiang River	 HE Wenming, ZHOU Jie, ZHANG Changsheng, et al (4042)
Integrating geographic features and weather data for methodology of rasterizing spring maize growth stages	 LIU Qin, YAN Changrong, MEI Xurong, et al (4056)
A model for predicting flowering date and external quality of cut tulip in solar greenhouse	 LI Gang, CHEN Yaru, DAI Jianfeng, et al (4062)
Moisture effect analysis of pumpkin and oil sunflower intercropping in semi-arid area of northwest Hebei Province	 HUANG Wei, ZHANG Junhua, LI Wenhong, et al (4072)
Review and Monograph	
Theoretical backgrounds and recent advances in avian molecular phylogeography	DONG Lu, ZHANG Yanyun (4082)
A review on spatial attributes of nature reserves and optimal site-selection methods	WANG Yicheng (4094)
Human activities are the principle cause of biotic homogenization	CHEN Guoqi, QIANG Sheng (4107)
Factors influencing the occurrence of <i>Ophiocordyceps sinensis</i>	ZHANG Guren, YU Junfeng, WU Guangguo, et al (4117)
Molecular detection of diversity of methanogens and methanotrophs in natural wetland soil	SHE Chenxing, TONG Chuan (4126)
Scientific Note	
Soil quality assessment of continuous cropping cotton fields for different years in a typical oasis in the upper reaches of the Tarim River	GONG Lu, ZHANG Haifeng, LÜ Guanghui, et al (4136)
Dynamics of microbial biomass during litter decomposition in the alpine forest	 ZHOU Xiaoping, WU Fuzhong, YANG Wanqin, et al (4144)
The aerodynamic roughness length of biological soil crusts: a case study of Gurbantunggut Desert	 WANG Xueqin, ZHANG Yuanming, ZHANG Weimin, et al (4153)
Differences among population quantities and community structures of pests and their natural enemies in tea gardens of different altitudes	KE Shengbing, DANG Fenghua, BI Shoudong, et al (4161)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 14 期 (2011 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 14 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: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