

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第8期 Vol.33 No.8 **2013**

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 33 卷 第 8 期

2013 年 4 月 (半月刊)

目 次

城市生态系统研究专题

- 城市生态系统:演变、服务与评价——“城市生态系统研究”专题序言 王效科 (2321)
- 城市生态景观建设的指导原则和评价指标 孙然好,陈爱莲,李 芬,等 (2322)
- 城市绿色空间格局的定量化方法研究进展 陶 宇,李 锋,王如松,等 (2330)
- 城市土地利用变化对生态系统服务的影响——以淮北市为例 赵 丹,李 锋,王如松 (2343)
- 基于市政综合监管信息的城市生态系统复杂性分析 董仁才,苟亚青,刘 昕 (2350)
- 原位生物技术对城市重污染河道底泥的治理效果 柳 敏,王如松,蒋 莹,等 (2358)
- 北京城区道路沉积物污染特性 任玉芬,王效科,欧阳志云,等 (2365)
- 绿地格局对城市地表热环境的调节功能 陈爱莲,孙然好,陈利顶 (2372)
- 北京城区气传花粉季节分布特征 孟 龄,王效科,欧阳志云,等 (2381)

个体与基础生态

- 三江源区高寒草甸退化对土壤水源涵养功能的影响 徐 翠,张林波,杜加强,等 (2388)
- 土壤砷植物暴露途径的土壤因子模拟 线 郁,王美娥,陈卫平 (2400)
- 不同寄主植物对马铃薯甲虫的引诱作用 李 超,程登发,郭文超,等 (2410)
- 蒙古栎、白桦根系分解及养分动态 靳贝贝,国庆喜 (2416)
- 干旱和坡向互作对栓皮栎和侧柏生长的影响 王 林,冯锦霞,王双霞,等 (2425)
- 不同郁闭度下胸高直径对杉木冠幅特征因子的影响 符利勇,孙 华,张会儒,等 (2434)
- 驯化温度与急性变温对南方鲢幼鱼皮肤呼吸代谢的影响 鲜雪梅,曹振东,付世建 (2444)

种群、群落和生态系统

- 五鹿山国家级自然保护区物种多样性海拔格局 何艳华,闫 明,张钦弟,等 (2452)
- 玉龙雪山白水 1 号冰川退缩迹地的植被演替 常 丽,何元庆,杨太保,等 (2463)
- 五花米草海向入侵对土壤有机碳组分、来源和分布的影响 王 刚,杨文斌,王国祥,等 (2474)
- 南亚热带人工针叶纯林近自然改造早期对群落特征和土壤性质的影响 何友均,梁星云,覃 林,等 (2484)
- 入侵植物黄顶菊生长、再生能力对模拟天敌危害的响应 王楠楠,皇甫超河,李玉浸,等 (2496)
- 小兴安岭白桦次生林叶面积指数的估测 刘志理,金光泽 (2505)
- 草地植物群落最优分类数的确定——以黄河三角洲为例 袁 秀,马克明,王 德 (2514)
- 多毛类底栖动物在莱州湾生态环境评价中的应用 张 莹,李少文,吕振波,等 (2522)
- 马尾松人工林火烧迹地不同恢复阶段中小型土壤节肢动物多样性 杨大星,杨茂发,徐 进,等 (2531)

景观、区域和全球生态

- 极端干旱区大气边界层厚度时间演变及其与地表能量平衡的关系 张 杰,张 强,唐从国 (2545)

基于多源遥感数据的景观格局及预测研究..... 赵永华,贾 夏,刘建朝,等 (2556)

城市化流域生态系统服务价值时空分异特征及其对土地利用程度的响应.....

..... 胡和兵,刘红玉,郝敬锋,等 (2565)

资源与产业生态

碳汇目标下农户森林经营最优决策及碳汇供给能力——基于浙江和江西两省调查.....

..... 朱 臻,沈月琴,吴伟光,等 (2577)

基于 GIS 的缓坡烟田土壤养分空间变异研究..... 刘国顺,常 栋,叶协锋,等 (2586)

春玉米最大叶面积指数的确定方法及其应用..... 麻雪艳,周广胜 (2596)

城乡与社会生态

广州市常见行道树种叶片表面形态与滞尘能力 刘 璐,管东生,陈永勤 (2604)

研究简报

桔梗种子萌发对低温、干旱及互作胁迫的响应..... 刘自刚,沈 冰,张 雁 (2615)

基质养分对寄生植物南方菟丝子生长的影响 张 静,李钧敏,闫 明 (2623)

学术信息与动态

人类活动对森林林冠的影响——第六届国际林冠学大会述评..... 宋 亮,刘文耀 (2632)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 34 * 2013-04



封面图说: 互花米草近景——互花米草是多年生高大禾本科植物,植株健壮而挺拔,平均株高约 1.5m,最高可达 3.5m,茎秆直径可达 1cm 以上。原产于大西洋沿岸,是一种适应海滩潮间带生长的耐盐、耐淹植物。我国于 1979 年开始引入,原意主要是用于保滩护堤、促淤造陆和改良土壤等。但是,近年来,互花米草迅速扩散,在一些区域里,已经完全郁闭,形成了单优种群,严重排挤了本土物种的生长,并且还在以指数增长的速度逐年增加,对海岸湿地土著物种和迁徙鸟类造成的危害日益严重,已经列为必须严格控制的有害外来入侵物种。

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

DOI: 10.5846/stxb201210291499

符利勇, 孙华, 张会儒, 雷相东, 雷渊才, 唐守正. 不同郁闭度下胸高直径对杉木冠幅特征因子的影响. 生态学报, 2013, 33(8): 2434-2443.

Fu L Y, Sun H, Zhang H R, Lei X D, Lei Y C, Tang S Z. Effects of diameter at breast height on crown characteristics of Chinese Fir under different canopy density conditions. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(8): 2434-2443.

不同郁闭度下胸高直径对杉木冠幅特征因子的影响

符利勇¹, 孙 华^{2,*}, 张会儒¹, 雷相东¹, 雷渊才¹, 唐守正¹

(1. 中国林业科学研究院资源信息研究所, 北京 100091; 2. 中南林业科技大学林业遥感信息工程研究中心, 长沙 410004)

摘要:树冠是树木进行光合作用和呼吸作用的重要场所,冠幅和冠长率直接影响树木的生活力和生产力。以湖南省黄丰桥国有林场 103 块杉木(*Cunninghamia lanceolata*)林样地为例,样地按郁闭度 $CD \geq 0.8$ (类型 1)、 $0.7 \leq CD < 0.8$ (类型 2)、 $0.6 \leq CD < 0.7$ (类型 3)、 $0.5 \leq CD < 0.6$ (类型 4) 和 $CD < 0.5$ (类型 5) 划分 5 个等级。分析不同等级林分中树木冠幅和冠长率的分布结构以及胸径的关系,同时利用非线性混合效应模型分析各类型郁闭度对冠幅和冠长率的随机影响。研究结果表明:5 种类型的冠幅大小主要分布在区间(2.5—4.0m)之间,分别占 65.82%、69.56%、70.79%、58.15% 和 53.21%,小于 1.5 m 和大于 5.0 m 分布较少;5 种类型冠长率主要分布在区间(0.3—0.7)之间,分别占 55.69%、71.93%、67.01%、82.22% 和 79.28%,在区间小于 0.2 和大于 0.8 分布较少,大于 0.9 的冠长率几乎没有;冠幅与胸径之间呈现较弱的线性相关性,而冠长率与胸径之间几乎线性不相关。在相同的胸高直径时,类型 5 的冠幅最大,而类型 1 的冠幅最小。对于冠长率,恰好相反,即类型 1 的冠长率最大,而类型 5 的冠长率最小;同时给出的冠幅模型(模型 11)和冠长率模型(模型 14)具有较高的预测精度,在实际应用中可以利用它们对冠幅和冠长率进行预测。

关键词:冠幅;冠长率;杉木;非线性混合效应模型

Effects of diameter at breast height on crown characteristics of Chinese Fir under different canopy density conditions

FU Liyong¹, SUN Hua^{2,*}, ZHANG Huiru¹, LEI Xiangdong¹, LEI Yuancai¹, TANG Shouzheng¹

1 Research Institute of Forest Resources Information Techniques, Chinese Academy of Forestry Beijing 100091

2 Research Center of Forestry Remote Sensing and Information Engineering, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China

Abstract: Crown size is an important tree variable included in growth and yield models, which are commonly used as decision-support tools in forest management. Crown size is usually described as tree crown width or live crown ratio. Tree crown width and live crown ratio have been found to be a useful measure for tree vigor, and allow one to predict tree growth, mortality and aboveground biomass. In this study, using 103 plots of *Cunninghamia lanceolata* stand in Huangfengqiao forest farm in Hunan Province as an example, each plot was divided into five classes by stand canopy density (CD) following the rules of $CD \geq 0.8$ (Type 1), $0.7 \leq CD < 0.8$ (Type 2), $0.6 \leq CD < 0.7$ (Type 3), $0.5 \leq CD < 0.6$ (Type 4), and $CD < 0.5$ (Type 5). We analyzed the distribution structure of tree crown width and live crown ratio of each tree for each type, and also analyzed the relationships of tree crown width and diameter at breast height (DBH), live crown ratio and DBH, respectively. In addition, nonlinear mixed effects models approach was used to describe the random effects of canopy density on tree crown width and live crown ratio. The commonly used logistic model with predictors of DBH and mean diameter at breast height in larger trees (MDL) was selected as a based model to construct mixed effects crown width and live crown ratio models. The prediction accuracy of the developed nonlinear mixed effects crown width and live crown

基金项目:林业公益性行业科研专项(201104028);国家林业局林业公益性行业科研专项(201204510);林业公益性行业重点项目(201004002)

收稿日期:2012-10-29; 修订日期:2013-03-04

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: sunhuayiw@126.com

ratio models were tested using the validation data. Results showed that: the sizes of tree crown width of five types mainly distributed in the interval from 2.5 (m) to 4.0 (m), accounting for 65.82%, 69.56%, 70.79%, 58.15% and 53.21%, respectively, and less distributed in the intervals of less than 1.5 (m) and more than 5.0 (m). The sizes of live crown ratio of five types mainly distributed in the interval from 0.3 (m) to 0.7 (m), accounting for 65.82%, 69.56%, 70.79%, 58.15% and 53.21%, respectively, and less distributed in the intervals of less than 0.2 (m) and more than 0.8 (m), and specially, there is almost no distributed for more than 0.9 (m). The linear correlation between tree crown width and DBH, and live crown ratio and DBH are very weak. The size of crown width of the tree for Type 5 is the largest and is the smallest for Type 1 under the same DBH. For live crown ratio, on contrary, namely the live crown ratio of the tree for Type 1 is the largest and is the smallest for Type 5 under the same DBH. The developed nonlinear mixed effects crown width and live crown ratio models not only described the effects of canopy density on tree crown width and live crown ratio effectively but also have a high prediction. This article main emphasizes on method researches, the effects of many other stand or tree characteristics, such stand age and stand density, on tree crown width or live crown ratio also can be studied using the nonlinear mixed effect models approach.

Key Words: tree crown width; live crown ratio; chinese fir; nonlinear mixed effects model

树冠是树木进行光合作用的重要场所,它决定树木的生活力和生产力,同时在树木生长过程中也是反映树木的长期竞争水平的重要指标^[1]。在树冠结构中,冠幅和冠长率是树冠重要的两个特征因子^[2-6]。在单木生长模型中经常用到冠幅和冠长率作为协变量预测树高或胸径生长量、生物量和树木枯损等^[4,6]。同时利用冠幅和冠长率计算林木的竞争指数^[7-10]。此外,冠幅也是可视化的重要参数^[11]。

国内外对冠幅和冠长率的研究主要集中在定性和图表研究^[4,7],部分学者利用传统的回归方法建立冠幅或冠长率与一些林分因子,例如胸高直径、树高、胸高断面积、林分密度等因子的线性关系^[12-15],从而进一步分析这些因子对冠幅的影响。实际应用中,由于经营措施、立地条件、人为因素以及气候等条件的随机干扰,冠幅和冠长率与林分调查因子间可能呈现较复杂的非线性关系。与此同时,所调查的数据常为重复调查数据或多水平数据,如不同等级郁闭度中对树木冠幅或冠长率重复观察,这些数据的调查对象间可能存在有明显的自相关和异方差等^[16]。而回归分析方法是假定数据间相互独立且非异质性^[17-19],是反应林分总体变化情况,对于研究对象(林分类型)个体间的差异程度,例如不同郁闭度等级对冠幅和冠长率的随机影响,传统的回归方法无法解决。为此,本论文以湖南省黄丰桥国有林场 103 块样地共 2461 株杉木为例,详细介绍利用混合模型方法分析不同郁闭度等级对冠幅和冠长率的影响,同时还得到冠幅和冠长率的预测模型。文中所有计算是在 S-Plus 软件 nlme 模块上实现。

1 材料与方法

1.1 研究区自然概况

研究区位于湖南省黄丰桥国有林场,该林场呈带状分布横跨株洲市攸县东西部,介于东经 113°04'至 113°43',北纬 27°06'至 27°24'之间。东北部与江西的莲花、萍乡交界,东南与茶陵县接壤,西北部与株洲、醴陵毗邻。全场地貌以中低山为主,境内最高海拔 1270 m,最低海拔 115 m,坡度介于 20—35°度之间。林场地处中亚热带季风湿润气候区,年均气温 17.8 °C,平均无霜期为 292d,年均降水量 1410.8 mm。全场现有林地面积 10122.6 hm²,活立木蓄积 879705 m³,其中有林地蓄积 879688 m³,占活立木蓄积 99.99%,四旁树蓄积 17 m³,仅占 0.01%。林场的森林覆盖率为 86.24%。树种主要以杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook)、松类(*Pinus* spp)为主,其中杉木面积 3197.6 hm²,占用材林面积 89.9%,蓄积 593738 m³,占 96.56%,全部为人工造林。

1.2 研究数据与方法

1.2.1 研究数据

按林分郁闭度(*CD*)大小将黄丰桥国有林场划分为 5 种不同林分类型;类型 1 $CD \geq 0.8$;类型 2 $0.7 \leq CD$

<0.8; 类型3 $0.6 \leq CD < 0.7$; 类型4 $0.5 \leq CD < 0.6$; 类型5 $CD < 0.5$ 。在这5种林分类型中分别随机抽取6、13、14、34和36块共103块样。样地最小面积为 0.0066 hm^2 , 最大面积为 0.1052 hm^2 。每个样地调查内容为胸径5 cm以上的活立木胸径、树高、枝下高以及东、南、西、北四个方向的冠幅长度, 共调查2461株。

1.2.2 指标测定

(1) 冠幅(CW)

研究所定义冠幅为东、南、西和北四个方向的平均值, 计算公式为^[11]:

$$CW = (CW_{\text{东}} + CW_{\text{南}} + CW_{\text{西}} + CW_{\text{北}}) / 4 \quad (1)$$

式中, $CW_{\text{东}}$ 、 $CW_{\text{西}}$ 、 $CW_{\text{南}}$ 和 $CW_{\text{北}}$ 分别代表东、西、南、北冠幅长度(m)。

(2) 冠长(CL)

冠长即树冠的长度, 指树干第一个活枝到树梢的长度。

$$CL = H - \tilde{H} \quad (2)$$

式中, H 为树高(m), $\tilde{H}$ 为树干第一个活枝高度(m), 简称枝下高。

(3) 冠长率(CR)

冠长率为冠长与树高的比值^[20]。

$$CR = CL/H \quad (3)$$

CR 的值在0到1之间, 当 $CR = 0$ 时表明树干没有冠幅, $CR = 1$ 时为全树冠, 这两种情形非常少见, 将冠长率处于 $0 < CR < 1$ 外的样本将全部剔除。

(4) 大于对象木树木平均直径(MDL)

大于对象木(被分析的树木)树木平均直径是指在样地中大于对象木所有树木直径的平均值, 反映树木在林分中竞争强度大小^[16]。

$$MDL_i = \sum_{j=1}^{n_i} D_j / n_j \quad (4)$$

式中, MDL_i 为大于第*i*株对象木所有树木的平均直径, n_i 为样地中大于对象木直径的树木株数。

1.2.3 数据分析

(1) 基础模型

论文选用 Logistic 模型分析冠幅和冠长率与林木胸高直径(D)关系^[10]。为降低树木间由竞争所产生的随机效应对冠幅和冠长率影响, 模型中将增加因变量 MDL, 表达式如下:

$$y = \varphi_1 / [1 + \varphi_2 \exp(-\varphi_3 D)] + \varphi_4 MDL + \varepsilon \quad (5)$$

式中, y 为冠幅(CW)或冠长率(CR); $\varphi_1 - \varphi_4$ 为待估参数。

(2) 混合模型

Pinheiro 和 Bates^[23]给出的非线性混合效应模型(称 NLMEMs)表达式为:

$$y_{ij} = f(\varphi_{ij}, v_{ij}) + \varepsilon_{ij}, \quad i = 1, \dots, M, \quad j = 1, \dots, n_i \quad (6)$$

$$\varphi_{ij} = A_{ij}\beta + B_{ij}u_i, \quad u_i \sim N(0, \psi) \quad (7)$$

式中, M 为郁闭度等级数; n_i 为第*i*个郁闭度等级重复观测次数; y_{ij} 表示第*i*个郁闭度等级中第*j*次观测的因变量值(此次研究为冠幅或冠长率), f 是关于参数向量 φ_{ij} 和连续变量 v_{ij} 的非线性函数; β 为 $p \times 1$ 维固定效应参数; u_i 为 $q \times 1$ 维的随机效应参数, 假定服从期望为0方差为 ψ 的正态分布; φ_{ij} 为形式参数(简称形参), 它与 β 和 u_i 呈线性函数关系; A_{ij} 与 B_{ij} 分别为 β 和 u_i 的设计矩阵; ε_{ij} 是随机误差项, 假定对于所有的*i*和*j*, ε_{ij} 都服从期望为0方差为 R 的正态分布, 并假定随机效应参数 u_i 与误差项 ε_{ij} 之间相互独立。关于混合模型的详细介绍, 见符利勇等^[22], 符利勇和唐守正^[23]等。

(3) 模型评价

利用模型(6)分析树冠和冠长率时, 在103块样地中随机抽取69块样地作为建模数据, 剩下34块样地作为检验数据。评价指标为平均残差($\bar{e}$)、残差方差(η)和均方误差(δ), 相应的计算公式如下:

$$\bar{e} = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{n_i} e_{ij} / N = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \hat{y}_{ij}) / N \quad (8)$$

$$\eta = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{n_i} (e_{ij} - \bar{e})^2 / (N - 1) \quad (9)$$

$$\delta = \sqrt{\bar{e} + \eta} \quad (10)$$

式中, $\hat{y}_{ij}$ 为冠幅或冠长率的预测值, N 为总观测次数 $N = \sum_{i=1}^M n_i$ 。

2 结果与分析

2.1 冠幅和冠长率结构

2.1.1 各林分类型基本信息

种林分类型年龄、密度、胸径、树高和枝下高的统计信息见表 1。从表中得知,所有调查样地中,林分年龄分布在 5—35a 间,其中各类型林分平均年龄非常接近(类型 1,2,4 为 19a,类型 3 和 5 为 20a)。对于密度,各调查样地间相差较大,分布在 237.62—1719.272 株/hm² 间,而林分类型间平均密度相差较小。对于胸径,各调查样地主要分布在 5—39.5 cm 间,而林分类型间平均胸高相差较小。对于树高,各调查样地主要分布在 4.3—25.8 m 间,而林分类型间相差不大。对于枝下高,各调查样地主要分布在 1—18.2 m 间,同样各林分类型间相差不大。

表 1 5 种林分类型统计信息

Table 1 Summary statistics for 5 stand types

类型 Type	年龄 Age/a				密度 Density/(株/hm ²)			
	最小 Min	最大 Max	平均 Mean	标准差 SD	最小 Min	最大 Max	平均 Mean	标准差 SD
1	6	25	19	6.04	281	1203	506	254.47
2	6	25	19	5.43	336	1173	693	247.04
3	10	35	20	5.83	258	937	551	200.38
4	8	35	19	5.75	251	1719	627	268.83
5	5	30	20	5.11	238	1713	694	235.42

类型 Type	胸径 Basal area/cm				树高 Height/m			
	最小 Min	最大 Max	平均 Mean	标准差 SD	最小 Min	最大 Max	平均 Mean	标准差 SD
1	5	27.9	17.16	5.40	4.3	20	12.21	3.55
2	5.5	33.6	16.46	4.46	4.8	19.6	11.23	2.74
3	7.8	35	18.08	4.72	4.5	19.8	12.31	2.90
4	6.4	37.2	18.20	4.99	5.7	23.5	12.30	2.68
5	5.3	39.5	19.41	5.51	4.8	25.8	13.42	3.16

类型 Type	枝下高 Under branch height/m				冠幅 Crown width/m			
	最小 Min	最大 Max	平均 Mean	标准差 SD	最小 Min	最大 Max	平均 Mean	标准差 SD
1	1.9	14	6.28	2.97	0.65	5.05	3.09	0.90
2	1.8	12.6	5.23	2.18	1.55	5.05	3.07	0.67
3	1.5	15.2	6.92	2.68	1	5.7	3.32	0.83
4	1.2	16	6.52	1.96	1.4	6.1	3.53	0.88
5	1	18.2	7.11	2.55	0.8	7	3.85	0.98

2.1.2 冠幅结构

各类型冠幅大小基本信息见表 1。从表 1 中得知 5 种类型的冠幅大小在区间(0.65—7 m)之间,其中,类型 5 的平均冠幅最大,为 3.85 m,类型 2 最小为 3.07 m,5 种类型的总平均冠幅为 3.37 m。5 种类型冠幅变异

系数分别为 29.13、21.82、25、24.93 和 25.45。为清楚地描述冠幅的结构分布,以 0.5 m 为级距对冠幅进行分级(尝试多种级距,当级距很小时,多个级距间冠幅分布为 0,很大时冠幅集中分布到几个级距间,综合考虑级距为 0.5 时能较好反映冠幅结构),其中大于 5 m 为上界,图 1 为各类型中冠幅等级占观测数的百分比分布。显然 5 种类型的冠幅大小主要分布在区间(2.5—4.0 m)之间,分别占 65.82%、69.56%、70.79%、58.15% 和 53.21%,小于 2.0 m 和大于 5.0 m 分布较少。

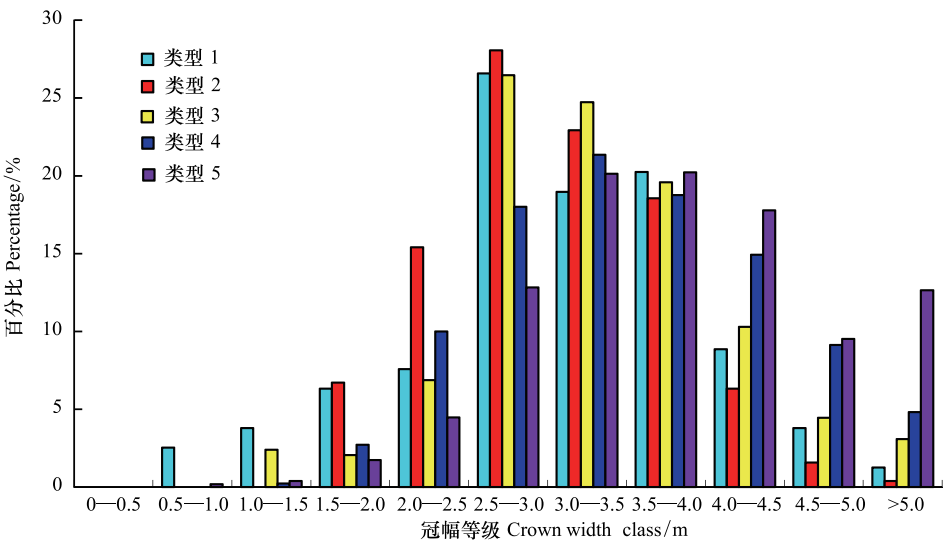


图 1 各类型中冠幅等级占观测数的百分比分布

Fig. 1 Crown width classes accounted for the percentage distribution of observations for each type

2.1.3 冠长率结构

各类型冠长率基本统计量见表 2。从表 2 中得知,5 种类型的冠长率分布在区间(0.02—0.89)之间,总平均冠长率为 0.47,其中类型 2 的冠长率最大为 0.52,类型 3 最小为 0.44。对于变异系数,类型 1 最大,为 45.32,类型 4 最小为 29.98。与冠幅一样,对冠长率按 0.1 级距进行分级(级距选择方法与冠幅类同),图 2 为各类型中冠长率等级占观测数的百分比分布。从图中得知 5 种类型冠长率主要分布在区间(0.3—0.7)之间,分别占 55.69%、71.93%、67.01%、82.22% 和 79.28%。在区间小于 0.2 和大于 0.8 冠长率分布较少,大于 0.9 的冠长率几乎没有。

表 2 5 种类型各自冠长率统计量

Table 2 Summary of live crown ratio for 5 types

类型 Type	最小值 Min	最大值 Max	平均值 Mean	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation	观测数 Observations
1	0.05	0.83	0.47	0.21	45.32	79
2	0.05	0.84	0.52	0.17	33.33	253
3	0.02	0.88	0.44	0.18	40.66	291
4	0.04	0.85	0.46	0.14	29.98	810
5	0.03	0.71	0.46	0.15	33.23	1028

2.2 各类型冠幅和冠长率与胸径关系

2.2.1 各类型冠幅与胸径关系

图 3 为各类型中树木冠幅大小与胸径的散点分布图,同时也给定了冠幅与胸径的线性回归方程和决定系数。图中看出冠幅大小与胸径总体呈正相关,其中,类型 1 的决定系数最大,类型 5 次之,最小是类型 2。5 种类型的树木冠幅与胸径有一定的线性相关性,但通过相关性检验得知在可靠性 $\alpha = 0.05$ 时都相关不显著。类型 1 具有较大的相关系数 $\rho = 0.74$ 可能与观测数较少有关。因此说明冠幅大小与胸径可能存在较复杂的非

线性关系。

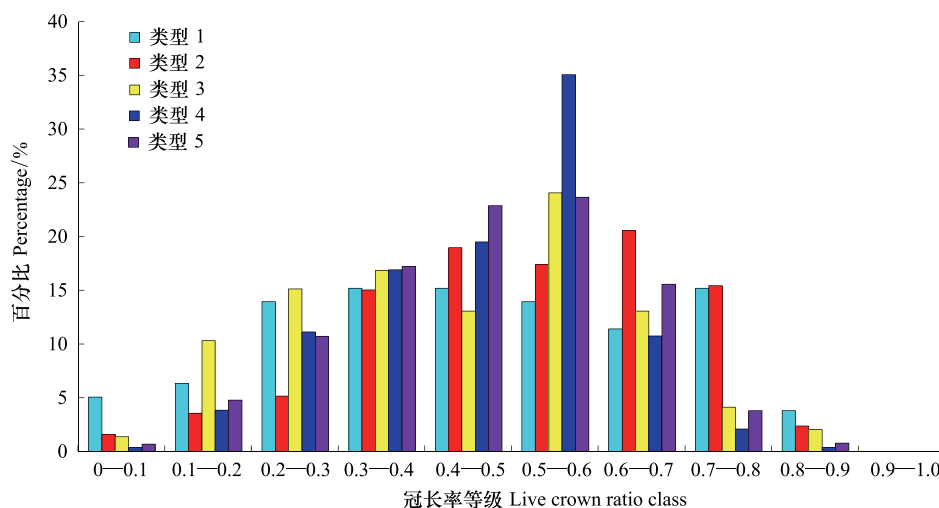


图2 各类型中冠长率等级占观测数的百分比分布

Fig. 2 Live crown ratio classes accounted for the percentage distribution of observations for each type

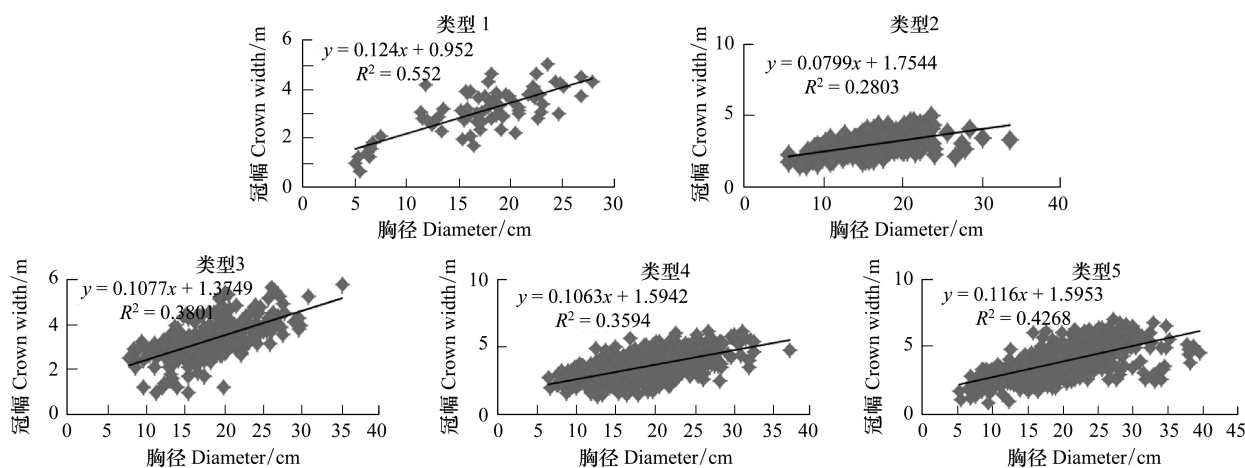


图3 各类型冠幅大小与胸径散点分布

Fig. 3 Scatters distribution of crown width and diameter for each type

2.2.2 各类型冠长率与胸径关系

图4为5种类型的树木冠长率与胸径的散点分布图。从图中散点走势得知,冠长率与胸径大小总体而言呈反比,类型2和类型3最明显。同时从图中还可得知各类型的决定系数都非常小,尤其是类型2几乎为零,从而说明冠长率与胸径大小无线性关系,通过相关系数检验也进一步得到证实。因此对于各种类型,冠长率可能与胸径呈复杂的非线性关系。

2.3 冠幅和冠长率模型

2.3.1 冠幅模型

从上节得知冠幅和冠长率与胸径线性相关性较弱,因此论文选用模型(5)对它们进行拟合。由于考虑郁闭度对冠幅和冠长率的影响,故把郁闭度作为随机效应因子构造混合模型。对作用在模型(5)上的15种不同形式参数构造类型进行分析与比较(评价指标AIC和BIC越小越好,参见文献^[21])得知,当由郁闭度产生的随机效应同时作用在形式参数 φ_2 和 φ_3 上时评价指标最小,AIC = 3770.23, BIC = 3819.25,因此选择该模型分析郁闭度对冠幅的影响^[26],模型表达式为:

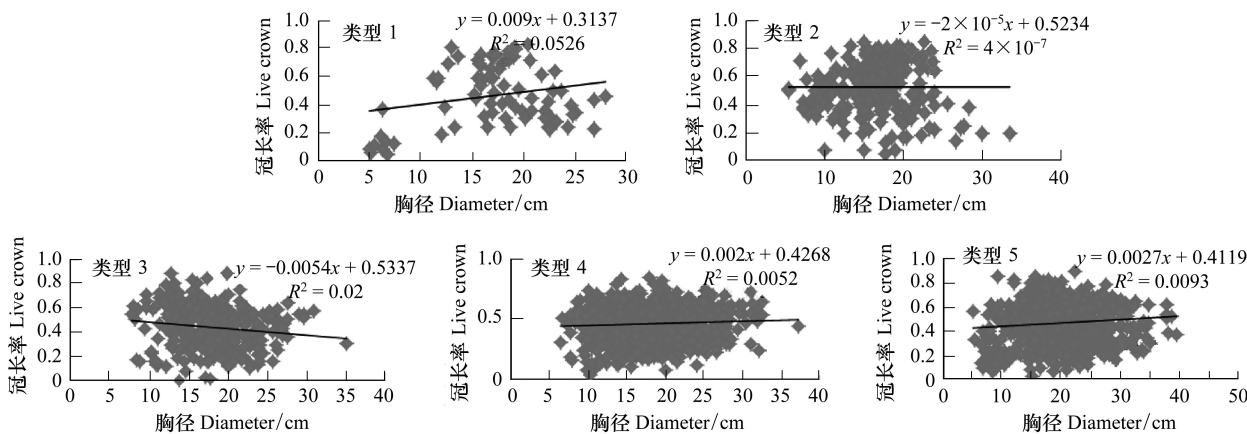


图4 各类型冠长率大小与胸径散点分布

Fig. 4 Scatters distribution of live crown ratio and diameter for each type

$$\begin{cases} CW_{ij} = \beta_1 / [1 + (\beta_2 + u_{2i}) \exp(-(\beta_3 + u_{3i})D_{ij})] + \beta_4 MDL_{ij} + \varepsilon_{ij} \\ u_i \sim N(0, \psi_{2 \times 2}) \\ \varepsilon_{ij} = \sigma^2, i = 1, \dots, M, j = 1, \dots, n_i \end{cases} \quad (11)$$

其中, $M = 5$; CW_{ij} 是郁闭度第 i 等级第 j 次观测树木的冠幅大小(m); $\beta_1 - \beta_4$ 为固定效应参数; $u_i = (u_{2i}, u_{3i})$ 为郁闭度第 i 等级所产生的 2×2 维随机效应, ψ 为 u_i 的方差; ε_{ij} 为误差项, 方差为 σ^2 ; 对于任意的 i 和 j , 假定 u_i 和 ε_{ij} 相互独立; 并假定 $\varepsilon_i = (\varepsilon_{i1}, \dots, \varepsilon_{in_i})^T$ 服从期望为 0 方差为 R_i 的正态分布^[25-26]。

$$R_i = \sigma^2 G0.5_i \Gamma_i G0.5_i \quad (12)$$

G_i 是用来描述对象内方差异质性的 $n_i \times n_i$ 维对角矩阵; Γ_i 是用来描述对象内误差自相关性的 $n_i \times n_i$ 维矩阵。由于本实例中各样地内观测数据之间没有明显的相关性, 故 Γ_i 为单位矩阵。为解释异方差性, 采用指数函数作为残差方差模型^[21]:

$$\text{var}(\varepsilon_{ij}) = \sigma^2 \exp(2\gamma BAI_{ij}) \quad (13)$$

式中, γ 为待估常数。

利用建模数据对模型(11)进行计算得到各参数估计值见表3。模型(11)中, 给定 D 和 MDL , 冠幅与随机效应参数 u_{2i} 和 u_{3i} 呈正比, 即 u_{2i} 和 u_{3i} 越大冠幅越大。从表3中得知, 类型5对应的随机效应参数最大, 类型3次之, 最小的是类型1, 从而说明在相同的胸高直径和竞争条件下, 类型5的冠幅最大, 而类型1的冠幅最小。利用模型(11)对检验数据进行预测时, 得到的评价指标 $\bar{e} = 0.3124$ 、 $\eta = 1.0132$ 、 $\delta = 1.0603$, 而模型(5)为 $\bar{e} = 0.5731$ 、 $\eta = 1.3201$ 、 $\delta = 1.4391$, 因此说明模型(11)有较高的预测精度, 同时也进一步证实混合模型比传统的回归模型精度要高^[22-23]。

表3 模型(11)参数估计值

Table 3 Parameter estimates of model (11)

参数 Parameters	估计值 Estimates	参数 Parameters	估计值 Estimates	参数 Parameters	估计值 Estimates	参数 Parameters	估计值 Estimates
u_{21}	-0.345	β_1	6.2	u_{31}	-0.0091	β_2	2.7582
u_{22}	-0.1323	β_3	0.0689	u_{32}	-0.0075	β_4	-0.0014
u_{23}	0.133	δ_{11}	0.3199	u_{33}	0	δ_{12}	0.758
u_{24}	-0.3247	δ_{22}	0.0108	u_{34}	-0.0012	σ^2	0.1442
u_{25}	0.3586	γ	0.5552	u_{35}	0.0178		

δ_{11} 和 δ_{22} 分别为 u_{1i} 和 u_{2i} 的方差; δ_{12} 为 u_{1i} 和 u_{2i} 的协方差

2.3.2 冠长率模型

与上节相似,同样利用基础模型(5)构建冠长率混合模型,随机效应因子为郁闭度。通过对 15 种不同形式参数构造类型进行分析与比较得知当随机效应同时作用在形参 φ_1 和 φ_4 上时对应的 AIC 和 BIC 最小,AIC = -1524, BIC = -1474.99,因此选择该模型分析郁闭度对冠长率的影响,模型表达式为:

$$\begin{cases} \text{RCV}_{ij} = (\beta_1 + u_{1i}) / [1 + \beta_2 \exp(-\beta_3 D_{ij})] + (\beta_4 + u_{4i}) \text{MDL}_{ij} + \varepsilon_{ij} \\ u_i \sim N(0, \psi_{2 \times 2}) \\ \varepsilon_{ij} = \sigma^2, i = 1, \dots, M, j = 1, \dots, n_i \end{cases} \quad (14)$$

式中, RCV_{ij} 为郁闭度第 i 等级中第 j 次观测树木的冠长率, $u_i = (u_{1i}, u_{4i})$ 为郁闭度第 i 等级所产生的随机效应。模型(14)中除随机效应作用的形参不同外(作用在形参 φ_1 和 φ_4 上),模型中参数结构和分布与模型(11)中定义完全相同,本节不再重复阐述。

利用建模数据对模型(14)进行计算得到参数估计值(表4)。从表4中得知,类型1对应的随机效应参数最大,类型2次之,逐渐递减,最小是类型5,从而说明在相同的胸高直径和竞争条件下,类型1的冠长率最大,而类型5的冠长率最小。同样利用模型(14)对检验数据进行预测时,得到的结论与上节完全相同,即相对回归模型,混合模型(14)有较高的预测精度,在实际应用中可以利用该模型预测冠长率。

表4 模型(14)参数估计值

Table 4 Parameter estimates of model (14)

参数 Parameters	估计值 Estimates	参数 Parameters	估计值 Estimates	参数 Parameters	估计值 Estimates	参数 Parameters	估计值 Estimates
u_{21}	0.180	β_1	0.4815	u_{31}	0.0003	β_2	10.0398
u_{22}	0.1020	β_3	0.5494	u_{32}	0.0003	β_4	0.0004
u_{23}	-0.0119	δ_{11}	0.0664	u_{33}	0.0005	δ_{12}	-0.989
u_{24}	-0.0833	δ_{22}	0.0024	u_{34}	0.0032	σ^2	0.1873
u_{25}	-0.0085	γ	-0.0681	u_{35}	0.0001		

3 结论与讨论

(1)从表1中得知各类型中杉木的冠幅主要分布在(2.5—4.0 m)之间,对于小于1.5 m和大于5.0 m分布较少,这与所调查的林分特性及杉木本身有关。类型1的变异系数比其它类型要大,可能存在以下几个原因:

1)在郁闭度较小的林分生长空间中,更新的小树较多,相比与优势木的冠幅,进界幼树的冠幅小得很多;

2)从表1中看出类型1的最大冠幅为5.05而最小冠幅为0.65,因此林分中郁闭度较小可能是由于林分中优势树种呈团状分布,从而使得林分中林隙较多,进界的幼树较多;

3)可能是由于类型1中观测数较少产生。对于冠长率类型1的变异系数最大而类型5变异系数较少,这可能是由于在郁闭度小的林分中,存在一定数量的幼树和优势木,它们对应的冠长率根据树种特性和立地条件差异较大,而在郁闭度较大的林分中,对于一些中庸木和亚优势木可能由于竞争不过优势木而死亡,从而存活下来的主要是优势树种,其冠长率差异较小(表2)。

(2)通常冠幅大小与直径有着显著的相关性^[11],从图1中看出类型1的冠幅与胸径相关系数较高($R = 0.7430$),而其它类型相对较小,这可能是由于在郁闭度较小的林分空间中,林木竞争关系相对较弱,树木可以无约束的生长,因此冠幅与胸径有明显的关系。对于类型2,冠幅与胸径相关系数最小($R = 0.5292$),这可能是由于在该郁闭度等级中,树种存在一定的竞争关系,同时局部的立地条件对树木的生长影响较大。因此对于胸径较大的树种,如果周围存在较多的竞争树种,其冠幅可能由于自身竞争能力弱而影响生长,相反对于幼树,如果立地条件好周边又没有竞争树种,其冠幅也可能较大。对于类型5,由于郁闭度较高,因此成活的树种一般为优势树种,此时树种的冠幅与胸径的影响不会很大(图1)。对于冠长率与胸径关系,与冠幅完

全相似。

如果把所有调查样地按照相同林分年龄分类并分析不同年龄大小间冠幅和冠长率与直径间的关系,结果得知,它们之间有较大的相关性。因此说明,冠幅和冠长率与胸径线性相关较弱的一部分原因可能还与同一林分类型中年龄之间差异较大引起。除此之外,冠幅和冠长率的生长还受经营措施影响,例如间伐次数和间伐强度等。历史资料显示,在本研究区域中,根据林场生产实际和林分生长状况,共抚育间伐分两次。第1次为生长伐,间伐的林龄为9—11a;第2次为定株伐,间伐的林龄为16—18a,两次间伐强度为林分株数的25%左右。冠幅和冠长率与直径非线性相关可能与间伐有一定关系,目前作者正在收集研究区域林分经营的历史资料,尚需进一步研究。同时关于其它林分因子对冠幅和冠长率的具体影响,将做进一步研究。

(3)除用定性的方法描述郁闭度对冠幅和冠长率影响外,此次研究还应用的非线性混合效应模型方法。该方法为常见的一种用来处理重复调查数据或纵向数据的工具^[21]。通过对冠幅和冠长率分析得到,在相同的胸高直径和竞争条件下,类型5的冠幅最大,而类型1的冠幅最小。对于冠长率,恰好相反,即类型1的冠长率最大,而类型5的冠长率最小。因此利用此次研究结论可以对林分生长收获预测和经营决策提供依据。冠幅和冠长率通常与多个林分因子有显著影响,例如林分密度、林木竞争指数、枝下高等^[10-11],此次研究是在不同等级的郁闭度下分析冠幅和冠长率与胸高直径以及大于对象木树木平均胸高直径之间关系,通过检验数据验证,论文给出的冠幅模型和冠长率模型预测精度较高,在实际应用中可以利用它们对冠幅和冠长率进行预测。

References:

- [1] Biging G S, Dobbertin M. A comparison of distance-dependent competition measures for height and basal area growth of individual conifer trees. *Forest Science*, 1992, 38(3): 695-720.
- [2] Assmann E. *The Principles of Forest Yield Studies*. Oxford: Pergamon Press, 1970: 506-506.
- [3] Spurr S H, Barnes B V. *Forest Ecology*. 3rd ed. New York: John Wiley, 1980: 527-527.
- [4] Monserud R A, Sterba H. A basal area increment model for individual trees growing in even-and uneven-aged forest stands in Austria. *Forest Ecology and Management*, 1996, 80(1/3): 57-80.
- [5] Kalliovirta J, Tokola T. Functions for estimating stem diameter and tree age using tree height, crown width and existing stand database information. *Silva Fennica*, 2005, 39(2): 227-248.
- [6] Russell M B, Weiskittel A R. Maximum and largest crown width equations for 15 tree species in Maine. *Northern Journal of Applied Forestry*, 2011, 28(2): 84-91.
- [7] Wykoff W R. A basal area increment model for individual conifers in the Northern Rocky Mountains. *Forest Science*, 1990, 36(4): 1077-1104.
- [8] Biging G S, Dobbertin M. Evaluation of competition indices in individual tree growth models. *Forest Science*, 1995, 41(2): 360-377.
- [9] Monleon V J, Azuma D, Gedney D. Equations for predicting uncompacted crown ratio based on compacted crown ratio and tree attributes. *Western Journal of Applied Forestry*, 2004, 19(4): 260-267.
- [10] Toney C, Reeves M C. Equations to convert compacted crown ratio to uncompacted crown ratio for trees in the interior west. *Western Journal of Applied Forestry*, 2009, 24(2): 76-82.
- [11] Lei X D, Zhang Z L, Cheng X G. Crown-width prediction models for several tree species including *Larix olgensis* in northeastern China. *Journal of Beijing Forestry University* 2006, 28(6): 75-79.
- [12] Gill S J, Biging G S, Murphy E C. Modeling conifer tree crown radius and estimating canopy cover. *Forest Ecology and Management*, 2000, 126(3): 405-416.
- [13] Bragb D C. A local basal area adjustment for crown width prediction. *Northern Journal of Applied Forestry*, 2001, 18(1): 22-28.
- [14] Bechtold W A. Crown-diameter prediction models for 87 species of stand-grown trees in the eastern United States. *Southern Journal of Applied Forestry*, 2003, 27(4): 269-278.
- [15] Bechtold W A. Largest-crown-width prediction models for 53 species in the western United States. *Western Journal of Applied Forestry*, 2004, 19(4): 245-251.
- [16] Uzoh F C C, Oliver W W. Individual tree diameter increment model for managed even-aged stands of ponderosa pine throughout the western United States using a multilevel linear mixed effects model. *Forest Ecology and Management*, 2008, 256(3): 438-445.

- [17] Biging G S. Improved estimates of site index curves using a varying-parameter model. *Forest Science*, 1985, 31(1): 248-259.
- [18] Keselman H J, Algina J, Kowalchuk R K, Wolfinger R D. A comparison of recent approaches to the analysis of repeated measurements. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 1999, 52(1): 63-78.
- [19] Garrett M F, Laird N M, Ware J H. *Applied Longitudinal Analysis*. New Jersey: John Wiley and Sons, Inc. , 2004.
- [20] Monserud R A. *Methodology for Simulating Wisconsin Northern Hardwood Stand Dynamics* [D]. Madison: University of Wisconsin, 1975: 156-156.
- [21] Pinheiro J C, Bates D M. *Mixed-Effects Models in S and S-PLUS*. New York: Springer-Verlag, 2000.
- [22] Fu L Y, Tang S Z. Dominant height for Chinese fir plantation using nonlinear mixed effects model based on linearization algorithm. *Scientia Silvae Sinicae*, 2012, 48(7): 66-71.
- [23] Fu L Y, Li Y C, Li C M, Tang S Z. Analysis of the basal area for Chinese fir plantation using two kinds of nonlinear mixed effects model (two levels). *Scientia Silvae Sinicae*, 2012, 48(5): 36-43.
- [24] Pinheiro J C, Bates D M. Approximations to the log-likelihood function in the nonlinear mixed effects model. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 1995, 4(1): 12-35.
- [25] Davidian M, Giltinan D M. *Nonlinear Models for Repeated Measurement Data*. New York: Chapman & Hall, 1995.
- [26] Meng S X, Huang S M. Improved calibration of nonlinear mixed-effects models demonstrated on a height growth function. *Forest Science*, 2009, 55(3): 239-248.

参考文献:

- [11] 雷相东, 张则路, 陈晓光. 长白落叶松等几个树种冠幅预测模型的研究. *北京林业大学学报*, 2006, 28(6): 75-79.
- [22] 符利勇, 唐守正. 基于非线性混合模型的杉木优势木平均高. *林业科学*, 2012, 48(7): 66-71.
- [23] 符利勇, 李永慈, 李春明, 唐守正. 利用 2 种非线性混合效应模型(2 水平)对杉木林胸径生长量的分析. *林业科学*, 2012, 48(5): 36-43.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 8 April, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Special Topics in Urban Ecosystems

- Guidelines and evaluation indicators of urban ecological landscape construction SUN Ranhao, CHEN Ailian, LI Fen, et al (2322)
- Research progress in the quantitative methods of urban green space patterns TAO Yu, LI Feng, WANG Rusong, et al (2330)
- Effects of land use change on ecosystem service value: a case study in Huaibei City, China ZHAO Dan, LI Feng, WANG Rusong (2343)
- Urban ecosystem complexity: an analysis based on urban municipal supervision and management information system DONG Rencai, GOU Yaqing, LIU Xin (2350)
- A case study of the effects of *in-situ* bioremediation on the release of pollutants from contaminated sediments in a typical, polluted urban river LIU Min, WANG Rusong, JIANG Ying, et al (2358)
- The pollution characteristics of Beijing urban road sediments REN Yufen, WANG Xiaoke, OUYANG Zhiyun, et al (2365)
- Effects of urban green pattern on urban surface thermal environment CHEN Ailian, SUN Ranhao, CHEN Liding (2372)
- Seasonal dynamics of airborne pollen in Beijing Urban Area MENG Ling, WANG Xiaoke, OUYANG Zhiyun, et al (2381)

Autecology & Fundamentals

- Impact of alpine meadow degradation on soil water conservation in the source region of three rivers XU Cui, ZHANG Linbo, DU Jiaqiang, et al (2388)
- Predicting the plant exposure to soil arsenic under varying soil factors XIAN Yu, WANG Meie, CHEN Weiping (2400)
- Attraction effect of different host-plant to Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata* LI Chao, CHENG Dengfa, GUO Wenchao, et al (2410)
- Root decomposition and nutrient dynamics of *Quercus mongolica* and *Betula Platyphylla* JIN Beibei, GUO Qingxi (2416)
- The interaction of drought and slope aspect on growth of *Quercus variabilis* and *Platycladus orientalis* WANG Lin, FENG Jinxia, WANG Shuangxia, et al (2425)
- Effects of diameter at breast height on crown characteristics of Chinese Fir under different canopy density conditions FU Liyong, SUN Hua, ZHANG Huiru, et al (2434)
- Effects of temperature acclimation and acute thermal change on cutaneous respiration in juvenile southern catfish (*Silurus meridionalis*) XIAN Xuemei, CAO Zhendong, FU Shijian (2444)

Population, Community and Ecosystem

- Altitudinal pattern of plant species diversity in the Wulu Mountain Nature Reserve, Shanxi, China HE Yanhua, YAN Ming, ZHANG Qindi, et al (2452)
- Vegetation succession on Baishui No. 1 glacier foreland, Mt. Yulong CHANG Li, HE Yuanqing, YANG Taibao, et al (2463)
- The effects of *Spartina alterniflora* seaward invasion on soil organic carbon fractions, sources and distribution WANG Gang, YANG Wenbin, WANG Guoxiang, et al (2474)
- Community characteristics and soil properties of coniferous plantation forest monocultures in the early stages after close-to-nature transformation management in southern subtropical China HE Youjun, LIANG Xingyun, QIN Lin, et al (2484)
- Response of invasive plant *Flaveria bidentis* to simulated herbivory based on the growth and reproduction WANG Nannan, HUANGFU Chaohe, LI Yujin, et al (2496)
- Estimation of leaf area index of secondary *Betula platyphylla* forest in Xiaoxing'an Mountains LIU Zhili, JIN Guangze (2505)
- Optimal number of herb vegetation clusters: a case study on Yellow River Delta YUAN Xiu, MA Keming, WANG De (2514)
- Application of polychaete in ecological environment evaluation of Laizhou Bay ZHANG Ying, LI Shaowen, LÜ Zhenbo, et al (2522)
- Soil meso-and micro arthropod community diversity in the burned areas of *Pinus massoniana* plantation at different restoration stages YANG Daxing, YANG Maofa, XU Jin, et al (2531)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Temporal variety of boundary layer height over deep arid region and the relations with energy balance ZHANG Jie, ZHANG Qiang, TANG Congguo (2545)
- Analysis and forecast of landscape pattern in Xi'an from 2000 to 2011 ZHAO Yonghua, JIA Xia, LIU Jianchao, et al (2556)
- Spatio-temporal variation in the value of ecosystem services and its response to land use intensity in an urbanized watershed HU Hebing, LIU Hongyu, HAO Jingfeng, et al (2565)

Resource and Industrial Ecology

- Household optimal forest management decision and carbon supply: case from Zhejiang and Jiangxi Provinces ZHU Zhen, SHEN Yueqin, WU Weiguang, et al (2577)
- Spatial variability characteristics of soil nutrients in tobacco fields of gentle slope based on GIS LIU Guoshun, CHANG Dong, YE Xiefeng, et al (2586)
- Method of determining the maximum leaf area index of spring maize and its application MA Xueyan, ZHOU Guangsheng (2596)

Urban, Rural and Social Ecology

- Morphological structure of leaves and dust-retaining capability of common street trees in Guangzhou Municipality LIU Lu, GUAN Dongsheng, CHEN Yongqin David (2604)

Research Notes

- Morphological responses to temperature, drought stress and their interaction during seed germination of *Platycodon grandiflorum* LIU Zigang, SHEN Bing, ZHANG Yan (2615)
- Effects of nutrients on the growth of the parasitic plant *Cuscuta australis* R. Br. ZHANG Jing, LI Junmin, YAN Ming (2623)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索自然奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的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;新书评价和学术、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,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 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

本期责任副主编 吕永龙

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 33 卷 第 8 期 (2013 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 8 (April, 2013)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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 90.00 元