

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

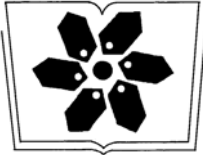
## Acta Ecologica Sinica



第34卷 第7期 Vol.34 No.7 2014

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 34 卷 第 7 期      2014 年 4 月    (半月刊)

## 目 次

### 前沿理论与学科综述

- 青藏高原东北部 5000 年来气候变化与若尔盖湿地历史生态学研究进展 ..... 何奕忻, 吴 宁, 朱求安, 等 (1615)
- 天山云杉森林土壤有机碳沿海拔的分布规律及其影响因素 ..... 阿米娜木·艾力, 常顺利, 张毓涛, 等 (1626)

### 个体与基础生态

- 小兴安岭红松日径向变化及其对气象因子的响应 ..... 李兴欢, 刘瑞鹏, 毛子军, 等 (1635)
- 采伐剩余物对林地表层土壤生化特性和酶活性的影响 ..... 吴波波, 郭剑芬, 吴君君, 等 (1645)
- 庞泉沟自然保护区典型森林土壤大团聚体特征 ..... 白秀梅, 韩有志, 郭汉清 (1654)
- 思茅松天然林树冠结构模型 ..... 欧光龙, 肖义发, 王俊峰, 等 (1663)
- 镁缺乏和过量胁迫对纽荷尔脐橙叶绿素荧光特性的影响 ..... 凌丽俐, 黄 翼, 彭良志, 等 (1672)
- 斑块生境中食果鸟类对南方红豆杉种子的取食和传播 ..... 李 宁, 王 征, 鲁长虎, 等 (1681)
- 重金属铅与两种淡水藻的相互作用 ..... 刘 璐, 闫 浩, 李 诚, 等 (1690)
- 刺参养殖池塘初级生产力及其粒级结构周年变化 ..... 姜森颖, 周一兵, 唐伯平, 等 (1698)
- 控(微囊)藻鲢、鳙排泄物光能与生长活性 ..... 王银平, 谷孝鸿, 曾庆飞, 等 (1707)
- 五爪金龙中香豆素类物质含量及其对福寿螺、水稻和稗草的影响 ..... 犹昌艳, 杨 宇, 胡 飞, 等 (1716)

### 种群、群落和生态系统

- 西双版纳国家级自然保护区勐腊子保护区亚洲象种群和栖息地评价 ..... 林 柳, 金延飞, 陈德坤, 等 (1725)
- 莱州湾鱼类群落同功能种团的季节变化 ..... 李 凡, 徐炳庆, 马元庆, 等 (1736)
- 长期不同施肥方式对麦田杂草群落的影响 ..... 蒋 敏, 沈明星, 沈新平, 等 (1746)
- 极端干旱条件下燕麦垄沟覆盖系统水生态过程 ..... 周 宏, 张恒嘉, 莫 非, 等 (1757)

### 景观、区域和全球生态

- 流域景观格局变化对洪枯径流影响的 SWAT 模型模拟分析 ..... 林炳青, 陈兴伟, 陈 莹, 等 (1772)
- 近 20 年青藏高原东北部禾本科牧草生育期变化特征 ..... 徐维新, 辛元春, 张 娟, 等 (1781)
- 丽江城市不同区域景观美学 ..... 郭先华, 赵千钧, 崔胜辉, 等 (1794)
- 珠三角河网水域栅藻的时空分布特征 ..... 王 超, 李新辉, 赖子尼, 等 (1800)
- 博斯腾湖细菌丰度时空分布及其与环境因子的关系 ..... 王博雯, 汤祥明, 高 光, 等 (1812)
- 遗传算法支持下土地利用空间分形特征尺度域的识别 ..... 吴 浩, 李 岩, 史文中, 等 (1822)
- 川西亚高山不同海拔岷江冷杉树轮碳稳定同位素对气候的响应 ..... 靳 翔, 徐 庆, 刘世荣, 等 (1831)

基于 ESDA 的西北太平洋柔鱼资源空间热点区域及其变动研究 ..... 冯永玖,陈新军,杨铭霞,等 (1841)

**城乡与社会生态**

基于居民生态认知的非使用价值支付意愿空间分异研究——以三江平原湿地为例.....

..... 高 琴,敖长林,陈红光,等 (1851)

浑河河水及其沿岸地下水污染特征 ..... 崔 健,都基众,王晓光 (1860)

社会生态系统及脆弱性驱动机制分析 ..... 余中元,李 波,张新时 (1870)

**研究简报**

等渗 NaCl 和 Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 胁迫对黄瓜幼苗生长和生理特性的影响 ..... 周 珩,郭世荣,邵慧娟,等 (1880)

**专家观点**

关于“生态保护和建设”名称和内涵的探讨 ..... 沈国舫 (1891)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 282 \* zh \* P \* ¥90.00 \* 1510 \* 29 \* 2014-04



**封面图说:** 红豆杉人工林——红豆杉为常绿针叶乔木,树高可达 25m,属国家一级保护植物。红豆杉中含有的紫杉醇,具有独特的抗癌机制和较高的抗癌活性,能阻止癌细胞的繁殖、抑制肿瘤细胞的迁移,是世界公认的抗癌药。红豆杉在我国共有 4 个种和 1 个变种,即云南红豆杉、西藏红豆杉、东北红豆杉、中国红豆杉和南方红豆杉(变种)。由于天然红豆杉稀缺,国家严禁采伐利用,因而我国南方很多地方都采取人工种植的方法生产利用。人工种植的南方红豆杉在南方山区多呈斑块状分布,斑块生境中鸟类对红豆杉种子的传播有重要的影响。

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/stxb201305301234

欧光龙, 肖义发, 王俊峰, 胥辉, 刘志灵. 思茅松天然林树冠结构模型. 生态学报, 2014, 34(7): 1663-1671.

Ou G L, Xiao Y F, Wang J F, Xu H, Liu Z L. Modeling tree crown structure of Simao pine (*Pinus kesiya* var. *langbianensis*) natural forest. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(7): 1663-1671.

## 思茅松天然林树冠结构模型

欧光龙<sup>1,2</sup>, 肖义发<sup>2</sup>, 王俊峰<sup>2</sup>, 胥辉<sup>2,\*</sup>, 刘志灵<sup>2</sup>

(1. 东北林业大学林学院, 哈尔滨 150040; 2. 西南林业大学西南地区生物多样性保育国家林业局重点实验室, 昆明 650224)

**摘要:**以云南省普洱市思茅区思茅松天然林为研究对象,采用枝解析调查了 34 株思茅松样木的树冠数据,分析了一级枝枝长、枝径、着枝角度、弦长和树冠半径 5 个树冠形状变量的变化规律,分别构建其预估模型;分析了树冠结构变化,分别构建了一级枝轮枝高度预估模型、一级枝枝条数量预估模型和一级枝枝条数量累积预估模型,并采用独立样本进行模型统计精度检验。结果表明:8 个预估模型的预测效果良好,精度达到 91% 以上,尤其是一级枝着枝角度模型和一级枝轮枝高度模型预测精度达到 97% 以上。研究结果合理准确描述思茅松树冠结构的变化,为思茅松天然林的经营管理提供科学依据。

**关键词:**树冠结构; 模型; 思茅松; 云南省思茅区

### Modeling tree crown structure of Simao pine (*Pinus kesiya* var. *langbianensis*) natural forest

OU Guanglong<sup>1,2</sup>, XIAO Yifa<sup>2</sup>, WANG Junfeng<sup>2</sup>, XU Hui<sup>2,\*</sup>, LIU Zhiling<sup>2</sup>

1 School of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

2 Key Laboratory of Biodiversity Conservation in Southwest China State Forest Administration, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China

**Abstract:** Tree crown structure plays an important role in tree growth and forest management. Simao pine (*Pinus kesiya* var. *langbianensis*) is an important fast-growing coniferous tree and an important source of timber. Studying the crown structure of Simao pine natural forest has important theoretical and practical significance for forest management. Branch analysis of the crown structure of 34 sample trees was investigated in Simao District, Pu'er, Yunnan Province, China. The sample trees ranged in age (*A*) from 16 to 76 a, diameter at breast height (*DBH*) from 6.0 to 51.3 cm, tree height (*H*) from 6.3 to 27.4 m, crown width (*CW*) from 2.0 to 15.7 m, and crown length (*CL*) from 2.3 to 16.4 m. Models of the tree crown shape and structure variables were built by stepwise regression analysis using SAS statistical software. Three predictive models were established based on five independent variables of tree crown shape using a logarithmic linearization power function. Those variables were: the length of primary branches (*BL*), the diameter of primary branches (*BD*), the angle of primary branches (*AB*), the chord length of primary branches (*BCL*) and the crown radius (*CR*). Meanwhile, predictive models were established based on the three independent variables related to tree crown structure using three multivariate linear models: the growth height of primary branches (*HGB*), number of whorl branches (*NWB*) and the cumulative number of whorl branches (*CNWB*) models. Tests used to check the statistical accuracy of the models were carried out using independent samples. The total relative error (*RS*), mean relative error (*EE*), mean absolute relative error (*RMA*) and predictive accuracy (*P*) were selected to evaluate the models. The result showed that the eight predictive models performed well and the predictive accuracies of all models exceeded 91%; in particular, the accuracies of both the *AB* and *HGB*

基金项目:国家自然科学基金项目(31160157);云南省应用基础研究计划项目(2012FD027)

收稿日期:2013-05-30; 修订日期:2013-07-30

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zyxy213@126.com



models were above 97%. Moreover, in the modeling of tree age ( $A$ ),  $H$  and  $DBH$  resulted in different values in the different models.  $A$  did not have a significant effect on the crown shape variables in the models, but the crown structure variables did have a significant effect on  $A$ , indicating that the effect of age on the crown shape variables was not significant, but  $A$  did have a significant influence on crown structure variables. Furthermore,  $H$  did not have a significant effect on the models except for the modeled value of  $AB$  which did have a significant effect on the crown shape models; also,  $A$  had a significant effect on the modeling of crown structure. Meanwhile all modeled values for variables except for  $AB$  were significantly correlated with  $DBH$ , and all modeled values were positively correlated with  $DBH$  except for when the  $CNWB$  predictive model was used. This showed that when  $DBH$  was larger,  $BL$ ,  $BD$ ,  $BCL$ ,  $CR$  were also larger, and more whorled branches were present. The negative correlation between  $DBH$  and stand density also showed that when stand density was higher,  $BL$ ,  $BD$ ,  $BCL$ ,  $CR$  and  $NWB$  were all smaller. Overall, the models were suitable for describing the trends and inherent variability of the crown shape and the structure, and provided a valuable reference for the management of Simao pine natural forest.

**Key Words:** crown structure; models; *Pinus kesiya* var. *langbianensis*; Simao District, Yunnan Province

树冠是树木最重要的组成部分<sup>[1]</sup>,树冠结构既是树木生长及其与环境相互作用、反馈调节的综合结果,也是经营措施对树木生长产生影响的具体表现,研究树冠结构是理解树木生理生态过程的基础,也是实现从叶片到林分不同尺度生理生态学过程转换的关键<sup>[2]</sup>。Oliver 和 Larson 论述了枝条的生长发育格局和树冠形状特点,并详细说明了树冠发育及其在林业生产上的应用<sup>[3]</sup>,Oldeman 则以树木结构分析为基础系统全面论述了树冠结构在林木生长和森林经营中的重要作用<sup>[4]</sup>。而且树冠变量因子常用来反映光合作用潜能和预估树木生长的生理变量<sup>[5]</sup>。可见树冠结构研究对林木生长及森林经营及其研究具有重要意义。

树木树冠结构研究较多,如国外针对花旗松 (*Pseudotsuga menziesii*, Douglas fir)、香脂冷杉 (*Abies balsam*, Balsam fir)、黑云杉 (*Picea mariana*, Black spruce)、挪威云杉 (*Picea abies*, Norway spruce)、火炬松 (*Pinus loblolly*, Loblolly pine) 等针叶树种的树冠结构的研究<sup>[6-10]</sup>,国内也开展了大量的研究,主要从树冠变量的描述及模拟<sup>[11-12]</sup>、树冠形状(轮廓)及其模拟<sup>[13-15]</sup>、枝条生长及其动态研究<sup>[11,16]</sup>、树冠分形特征分析<sup>[17-20]</sup>等研究。就树种而言,我国对针叶树种的树冠研究则主要集中在樟子松、落叶松、油松等北方针叶树种<sup>[2,13,21-22]</sup>,以及水杉、杉木、马尾松等研究上<sup>[15,23-25]</sup>。目前未见思茅松树冠结构研究的报道。

思茅松 (*Pinus kesiya* var. *langbianensis*) 自然分布于云南热带北缘和亚热带南部半湿润地区<sup>[26]</sup>,是

我国亚热带西南部山地的代表种<sup>[27]</sup>,因用途广泛,生长迅速,近年来已成为云南重要的人工造林树种。思茅松林作为云南特有的森林类型,主要分布于云南哀牢山西坡以西的亚热带南部,其分布面积和蓄积量均占云南省有林地面积的 11%<sup>[26]</sup>,具有重要的经济价值、森林生态服务功能和碳汇效益<sup>[28-29]</sup>。分析思茅松树冠结构变化规律,对于思茅松林的科学经营管理具有重要指导意义。

本研究以思茅松主要分布区云南省普洱市思茅区思茅松天然林为研究对象,分析思茅松树冠结构规律,从一级枝枝长、枝径、着枝角度、弦长、树冠半径 5 个方面构建思茅松树冠形状变量预估模型;并分别构建一级枝轮枝高度、一级枝枝条数量及其累积分布预估模型,从而实现对思茅松树冠结构的预估,为思茅松天然林的科学经营管理提供参考。

## 1 研究区概况

思茅区位于云南省南部、普洱市中南部、澜沧江中下游,地处 N22°27'—23°06'、E100°19'—101°27' 之间。全区东西长 118 km,南北宽 72 km,总面积 3928 km<sup>2</sup>。思茅区属低纬高原南亚热带季风气候区,具有低纬、高温、多雨、静风的特点,冬无严寒,夏无酷暑,四季温和。年均气温 17.9 °C,年均降雨量 1517.8 mm,无霜期 315 d。森林覆盖率达 70.28%,素有“绿海明珠”、“林中之城”的美誉。

## 2 研究方法

### 2.1 野外调查

在云南省普洱市思茅区选取思茅松天然林典型样地 15 个,在每个样地选取 2—3 株标准木进行测定。标准木涵盖研究区思茅松不同的龄组、径阶和树高级,共计选取 34 株标准木进行树冠结构调查,

记录树龄( $A$ )、树高( $H$ )、胸径( $DBH$ )、冠长( $CL$ )、冠幅( $CW$ )等数据;并进行林木枝解析,共计调查一级枝枝条 1232 个,记录一级枝着枝深度( $DINC$ )、着枝角度( $AB$ )、枝径( $BD$ )、枝长( $BL$ )、弦长( $BCL$ )、树冠半径( $CR$ )、轮枝序号( $OBW$ )、轮枝高度( $HGB$ )等数据;获取轮枝数及活枝枝条数据 1020 个,包含  $NWB$ 、 $OBW$  和  $HGB$  等数据。

表 1 样地基本特征

Table 1 The description of the plots

样地号 Plots No.	坡度 Degree of slope /(°)	坡向 Aspect of slope	海拔 Altitude /m	林分平均高 Stand average height/m	林分优势高 Stand dominant height/m	林分平均胸径 Stand average diameter/cm	林分密度 Stand density /(株/hm <sup>2</sup> )	树种组成 Species composition of trees
1	16	EN	1230	15.4	22.0	23.2	950	6 P2C2O
2	25	WS	1230	12.0	19.7	15.6	1000	8P1C1O
3	19	ES	1080	17.0	25.0	23.6	700	7P2C1O
4	13	EN	1080	12.6	21.5	16.3	900	7P1C2O
5	20	WS	1130	16.1	23.5	20.4	900	7P1C2O
6	29	WS	1150	15.9	21.5	19.5	1000	8P1C1O
7	25	ES	1270	14.8	20.1	16.2	1050	8P1C1O
8	15	ES	1235	15.3	21.8	15.7	850	9P1C
9	26	ES	1290	14.3	21.8	17.6	800	9P1C
10	17	WN	1310	8.1	18.0	8.4	1250	9P1C
11	10	WN	1320	9.7	20.0	9.7	1650	9P1O
12	8	WN	1310	10.3	21.3	11.2	1100	8P1C1O
13	25	WN	1310	10.4	19.2	10.8	1400	7P1C2O
14	16	WN	1300	16.4	20.2	20.0	650	6P2C2O
15	23	WN	1300	16.2	20.8	17.1	700	8P1C1O

P:思茅松 *Pinus kesiya* var. *langbianensis*, C:刺栲 *Castanopsis hystrix*, O:其它树,包括红木荷、红皮水锦树、余甘子等 other trees, including *Schima wallichii*, *Wendlandia tinctoria*, *Phyllanthus emblica* etc

表 2 标准木基本特征统计表

Table 2 The description of the sampling trees

变量 Variables	均值 Mean	标准差 Standard deviation	范围 Range
树龄 Age /a	41.9	17.6	16—76
树高 Height/m	17.4	4.7	6.3—27.4
胸径 Diameter at breast height/cm	24.7	11.4	6.0—51.3
冠幅 Crow width/m	7.0	2.8	2.0—15.7
冠长 Crow length/m	8.4	3.4	2.3—16.4

### 2.2 数据分析

#### 2.2.1 树冠形状预估模型的构建

采用 SAS 统计分析软件,将 1232 个数据按照 3:1 进行分组,其中 3/4 (924 个)用于模型构建,1/4 (308 个)用于独立性检验。采用线性化的幂函数模型,构建思茅松天然林树冠形状预估模型,引用着枝深度( $DINC$ )、树龄( $A$ )、树高( $H$ )、胸径( $DBH$ )、冠长( $CL$ )、冠幅( $CW$ )、轮枝高度( $HGB$ ) 7 个变量的对数

化变换后的变换变量,分别构建一级枝枝径、枝长、着枝角度、弦长和树冠半径预估模型。

#### 2.2.2 树冠结构预估模型构建

采用 SAS 统计分析软件,将 1020 个数据按照 3:1 进行分组,其中 3/4 (765 个)用于模型构建,1/4 (255 个)用于独立性检验。采用多元线性回归构建树冠结构预估模型,分别构建轮枝高度预估模型、一级枝枝条数量预估模型和一级枝枝条数量累积预估

模型,其中轮枝高度预估模型引用轮枝序号(*OBW*)、树龄(*A*)、树高(*H*)、胸径(*DBH*)、冠长(*CL*)和冠幅(*CW*)变量,一级枝数量预估模型和一级枝枝条数累积预估模型引用轮枝高度(*HGB*)、轮枝序号(*OBW*)、树龄(*A*)、树高(*H*)、胸径(*DBH*)、冠长(*CL*)和冠幅(*CW*)变量。

### 2.2.3 模型检验

采用独立样本进行模型检验,选用总相对误差(*RS*)、平均相对误差(*EE*)、平均相对误差绝对值(*RMA*),预估精度(*P*)4个评价指标:

$$RS = \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)}{\sum \hat{y}_i} \times 100\% \quad (1)$$

$$EE = \frac{1}{N} \sum \left( \frac{y_i - \hat{y}_i}{\hat{y}_i} \right) \times 100\% \quad (2)$$

$$RMA = \frac{1}{N} \sum \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{\hat{y}_i} \right| \times 100\% \quad (3)$$

$$P = \left( 1 - \frac{t_a \sqrt{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}}{\hat{y}_i \sqrt{N(N-T)}} \right) \times 100\% \quad (4)$$

式中, $y_i$ 为实测值, $\hat{y}_i$ 为估计值, $N$ 为样本容量, $t_a$ 置信水平为 $\alpha=0.05$ 时 $t$ 的分布值, $T$ 为回归曲线方程中参数个数, $\hat{y}_i$ 为估计值的平均值。

## 3 结果分析

### 3.1 思茅松树冠形状预估模型构建

#### 3.1.1 一级枝枝长预估模型

通过多元线性逐步回归,由于对数转换后的树龄、冠幅和树高没有通过 $\alpha=0.05$ 水平的 $t$ 检验,所以剔除该变量,得到思茅松枝长预估模型(表3)。

$$INBL = -1.03019 + 0.43137 \times INDINC + 1.29817 \times INDBH - 0.79618 \times INHGB - 0.36326 \times INCL$$

式中, $INBL$ 为对数变换后的枝长值, $INDINC$ 是对数变换后的枝条着枝深度, $INDBH$ 为对数变换后的树木胸径, $INHGB$ 为对数变换后的轮枝高度, $INCL$ 为对数变换后的冠长。

表3 一级枝枝长预估模型参数表

Table 3 The parameters of stepwise regression for the length of primary branches

变量 Variables	回归系数 Parameters	偏相关系数 Partial $R^2$	模型相关系数 $R^2$	$C(p)$	$F$	$Prob>F$
截距 Intercept	-1.03019					
对数化的着枝深度 $INDINC$	0.43137	0.5396	0.5396	296.7730	897.73	<0.0001
对数化的胸径 $INDBH$	1.29817	0.0897	0.6293	92.0109	185.21	<0.0001
对数化的着枝高度 $INHGB$	-0.79618	0.0312	0.6606	22.0659	70.28	<0.0001
对数化的冠长 $INCL$	-0.36326	0.0089	0.6694	3.5962	20.51	<0.0001

#### 3.1.2 一级枝枝径预估模型

通过多元线性逐步回归,由于对数转换后的树龄、树高没有通过 $\alpha=0.05$ 水平的 $t$ 检验,所以剔除该变量,得到思茅松枝径预估模型(见表4)。

$$INBD = -1.71587 + 0.32421 \times INDINC + 1.84620 \times INDBH - 0.74188 \times INHGB - 0.30432 \times INCW - 0.37870 \times INCL$$

式中, $INBD$ 为对数变换后的枝径值, $INDINC$ 是对数变换后的着枝深度, $INDBH$ 为对数变换后的树木胸径, $INHGB$ 为对数变换后的轮枝高度, $INCW$ 为对数变换后的冠幅, $INCL$ 为对数变换后的冠长。

#### 3.1.3 一级枝枝条着枝角度预估模型

通过多元线性逐步回归,由于对数转换后的树龄、胸径和冠长没有通过 $\alpha=0.05$ 水平的 $t$ 检验,所以剔除该变量,得到思茅松一级枝着枝角度预估模型(表5)。

$$INAB = 4.22542 + 0.03090 \times INDINC - 0.26775 \times INHGB + 0.28272 \times INH - 0.07493 \times INCW$$

式中, $INAB$ 为对数变换后的着枝角度, $INDINC$ 是对数变换后的着枝深度, $INHGB$ 为对数变换后的轮枝高度, $INH$ 为对数变换后的树高, $INCW$ 为对数变换后的冠幅。

表 4 一级枝枝径预估模型参数表

Table 4 The parameters of stepwise regression for the diameter of primary branches

变量 Variables	回归系数 Parameters	偏相关系数 Partial $R^2$	模型相关系数 $R^2$	$C(p)$	$F$	$Prob>F$
截距 Intercept	-1.71587					
对数化的着枝深度 <i>INDINC</i>	0.32421	0.3993	0.3993	805.9410	513.15	<0.0001
对数化的胸径 <i>INDBH</i>	1.84620	0.2497	0.6490	152.7860	548.58	<0.0001
对数化的着枝高度 <i>INHGB</i>	-0.74188	0.0350	0.6840	63.0315	85.22	<0.0001
对数化的冠幅 <i>INCW</i>	-0.30432	0.0143	0.6983	27.5198	36.44	<0.0001
对数化的冠长 <i>INCL</i>	-0.37870	0.0088	0.7071	6.3309	23.18	<0.0001

表 5 一级枝枝条着枝角度预估模型参数表

Table 5 The parameters of stepwise regression for the angle of primary branches

变量 Variables	回归系数 Parameters	偏相关系数 Partial $R^2$	模型相关系数 $R^2$	$C(p)$	$F$	$Prob>F$
截距 Intercept	4.22542					
对数化的着枝深度 <i>INDINC</i>	0.03090	0.0648	0.0648	32.3620	56.46	<0.0001
对数化的着枝高度 <i>INHGB</i>	-0.26775	0.0245	0.0893	12.1733	21.94	<0.0001
对数化的树高 <i>INH</i>	0.28272	0.0059	0.0952	8.8545	5.29	0.0217
对数化的冠幅 <i>INCW</i>	-0.07493	0.0066	0.1018	4.9147	5.94	0.015

## 3.1.4 一级枝弦长预估模型

通过多元线性逐步回归,由于对数转换后的树

龄、树高和冠幅没有通过  $\alpha = 0.05$  水平的  $t$  检验,所以剔除该变量,得到思茅松弦长预估模型(表 6)。

表 6 一级枝枝条弦长预估模型参数表

Table 6 The parameters of stepwise regression for the chord length of primary branches

变量 Variables	回归系数 Parameters	偏相关系数 Partial $R^2$	模型相关系数 $R^2$	$C(p)$	$F$	$Prob>F$
截距 Intercept	-1.18001					
对数化的着枝深度 <i>INDINC</i>	0.46213	0.5533	0.5533	266.9680	937.62	<0.0001
对数化的胸径 <i>INDBH</i>	1.26242	0.0824	0.6356	80.5573	170.88	<0.0001
对数化的着枝高度 <i>INHGB</i>	-0.73553	0.0249	0.6606	25.5417	55.43	<0.0001
对数化的冠长 <i>INCL</i>	-0.39044	0.0099	0.6704	5.0065	22.54	<0.0001

$$INBCL = -1.18001 + 0.46213 \times INDINC + 1.26242 \times$$

$$INDBH - 0.73553 \times INHGB - 0.39044 \times INCL$$

式中, *INBCL* 为对数变换后的枝条弦长, *INDINC* 是对数变换后的着枝深度, *INDBH* 为对数变换后的树木胸径, *INHGB* 为对数变换后的轮枝高度, *INCL* 为对数变换后的冠长。

## 3.1.5 一级枝树冠半径预估模型

通过多元线性逐步回归,由于对数转换后的树龄、树高和冠幅没有通过  $\alpha = 0.05$  水平的  $t$  检验,所以剔除该变量,得到思茅松树冠半径预估模型(表 7)。

表 7 一级枝树冠半径预估模型参数表

Table 7 The parameters of stepwise regression for crown radius

变量 Variables	回归系数 Parameters	偏相关系数 Partial $R^2$	模型相关系数 $R^2$	$C(p)$	$F$	$Prob>F$
截距 Intercept	-1.15274					
对数化的着枝深度 <i>INDINC</i>	0.50429	0.5899	0.5899	228.0370	1075.97	<0.0001
对数化的胸径 <i>INDBH</i>	1.22894	0.0612	0.6511	84.6918	131.02	<0.0001
对数化的着枝高度 <i>INHGB</i>	-0.75143	0.0252	0.6763	26.7867	58.13	<0.0001
对数化的冠长 <i>INCL</i>	-0.41454	0.0107	0.6870	3.4143	25.43	<0.0001



$$INCR = -1.15274 + 0.50429 \times INDINC + 1.22894 \times INDBH - 0.75143 \times INHGB - 0.41454 \times INCL$$

式中, *INCR* 为对数变换后的树冠半径, *INDINC* 是对数变换后的着枝深度, *INDBH* 为对数变换后的树木胸径, *INHGB* 为对数变换后的轮枝高度, *INCL* 为对数变换后的冠长。

### 3.2 思茅松树冠结构预估模型构建

#### 3.2.1 一级枝轮枝高度预估模型

通过多元线性逐步回归, 所有变量均通过

$\alpha = 0.05$  水平的  $t$  检验, 所有变量均参与模型拟合, 得到思茅松一级枝轮枝高度预估模型 (表 8)。

$$HGB = -2.51949 + 0.95741 \times H + 0.18775 \times OBW - 0.52860 \times CL - 0.09175 \times A + 0.11187 \times DBH + 0.13459 \times CW$$

式中, *HGB* 为轮枝高度, *H* 为树高, *OBW* 为轮枝序号, *CL* 为冠长, *A* 为树龄, *DBH* 为胸径, *CW* 为冠幅。

表 8 一级枝枝条轮枝高度预估模型参数表

Table 8 The parameters of stepwise regression for the growth height of primary branches

变量 Variables	回归系数 Parameters	偏相关系数 Partial $R^2$	模型相关系数 $R^2$	$C(p)$	$F$	$Prob > F$
截距 Intercept	-2.51949					
树高 <i>H</i>	0.95741	0.6501	0.6501	1652.6900	1220.92	<0.0001
轮枝序号 <i>OBW</i>	0.18775	0.1874	0.8375	418.6710	756.60	<0.0001
冠长 <i>CL</i>	-0.52860	0.0471	0.8847	109.6760	267.79	<0.0001
树龄 <i>A</i>	-0.09175	0.0090	0.8936	52.6159	55.05	<0.0001
胸径 <i>DBH</i>	0.11187	0.0044	0.8981	25.3020	28.47	<0.0001
冠幅 <i>CW</i>	0.13459	0.0031	0.9012	7.0000	20.30	<0.0001

#### 3.2.2 一级枝枝条数量预估模型

通过多元线性逐步回归, 由于冠长、冠幅和轮枝序号没有通过  $\alpha = 0.05$  水平的  $t$  检验, 所以剔除该变量, 得到思茅松一级枝枝条数量预估模型 (表 9)。

$$NWB = 3.16472 - 0.04652 \times A + 0.04254 \times HGB + 0.03121 \times DBH - 0.02566 \times H$$

式中, *NWB* 为每轮枝枝条数量, *A* 为树龄, *HGB* 为轮枝高度, *DBH* 为胸径, *H* 为树高。

表 9 一级枝枝条数量预估模型参数表

Table 9 The parameters of stepwise regression for the whorl number of primary branches

变量 Variables	回归系数 Parameters	偏相关系数 Partial $R^2$	模型相关系数 $R^2$	$C(p)$	$F$	$Prob > F$
截距 Intercept	3.16472					
树龄 <i>A</i>	-0.04652	0.4347	0.4347	68.1366	380.66	<0.0001
轮枝高度 <i>HGB</i>	0.04254	0.0430	0.4777	27.4523	40.67	<0.0001
胸径 <i>DBH</i>	0.03121	0.0231	0.5008	6.5244	22.81	<0.0001
树高 <i>H</i>	-0.02566	0.0051	0.5059	3.4475	5.09	0.0245

#### 3.2.3 一级枝枝条数量累积预估模型

通过多元线性逐步回归, 由于冠幅没有通过  $\alpha = 0.05$  水平的  $t$  检验, 所以剔除该变量, 得到思茅松一级枝枝条数量累积预估模型 (表 10)。

$$CNWB = 21.31462 - 7.50802 \times HGB + 7.81497 \times H - 0.19970 \times DBH + 0.39503 \times OBW - 61322 \times CL - 0.32142 \times A$$

式中, *CNWB* 为每轮枝枝条数随轮枝高度增加的累

积数, *HGB* 为轮枝高度, *H* 为树高, *DBH* 为胸径, *OBW* 为轮枝序号, *CL* 为冠长, *A* 为树龄。

### 3.3 模型检验

从表 11 中可以看出, 总相对误差 (*RS*) 绝对值均在 5% 以内, 平均相对误差 (*EE*) 除一级枝枝径预估模型外, 其余均在 10% 以下, 尤其是一级枝数量累积预估模型仅为 -0.95%; 平均误差绝对值 (*RMA*) 均在 45% 以下, 其中一级枝着枝角度预估模型和一级枝

轮值高度预估模型均在 20% 以下;所有模型的预估精度( $P$ )均在 91% 以上,尤其是一级枝着枝角度预

估模型和一级枝轮枝高度预估模型均高于 97%。

表 10 一级枝枝条数量累积预估模型参数表

Table 10 The parameters of stepwise regression for the cumulative number of primary branches

变量 Variables	回归系数 Parameters	偏相关系数 Partial $R^2$	模型相关系数 $R^2$	$C(p)$	$F$	$Prob>F$
截距 Intercept	21.31462					
轮枝高度 $HGB$	-7.50802	0.3683	0.3683	1657.8800	322.42	<0.0001
树高 $H$	7.81497	0.3845	0.7528	315.3830	858.61	<0.0001
胸径 $DBH$	-0.1997	0.0596	0.8124	108.9290	175.11	<0.0001
轮枝序号 $OBW$	0.39503	0.0117	0.8242	69.8826	36.72	<0.0001
冠长 $CL$	-1.61322	0.0092	0.8334	39.6594	30.36	<0.0001
树龄 $A$	-0.32142	0.0097	0.8431	7.7090	33.91	<0.0001

表 11 思茅松树冠变量及树冠结构预估模型检验参数表

Table 11 The indices of test for the models of tree crown

模型 Models	$RS/\%$	$EE/\%$	$RMA/\%$	$P/\%$
枝长预估模型 Model of Branches Length	2.21	5.58	38.77	93.35
枝径预估模型 Model of Branches Diameter	-2.87	-10.13	44.85	91.39
着枝角度预估模型 Model of Branches Angle	-3.36	-3.49	19.39	97.37
弦长预估模型 Model of Branches Chord Length	-1.55	-5.38	39.91	93.31
树冠半径预估模型 Model of Crow Radius	-3.84	-7.82	41.42	93.09
轮枝高度预估模型 Model of Growth Height of Branches	1.52	1.45	14.97	97.82
枝条数量预估模型 Model of Number of Whorl Branches	-4.97	-5.69	42.74	92.91
枝条数量累积预估模型 Model of Cumulative Number of Branches	-1.28	-0.95	40.47	94.96

## 4 结论和讨论

### 4.1 树冠变量预估模型评价

林木生长符合相对生长规律,采用幂函数模型及其变型可以很好拟合植物及其器官组件的生长,而幂函数模型可以通过线性化,从而转换为简单的线性问题来解决,因此,本研究树冠形状变量的预估模型,采用线性化的幂函数模型来拟合。从模型拟合的效果看,其拟合的相关系数除着枝角度较低(仅 0.1018)外,其余均在 0.65 以上,且独立性检验的预估精度均在 91% 以上,总相对误差、平均相对误差均较低,模型拟合效果较好;但是一级枝着枝角度的预估模型相关系数较低,但独立性检验的预估精度却高达 97.37%,平均误差绝对值也为 5 个树冠变量预估模型中最低,造成这一差异的原因需要在今后的研究中进一步探索。

树冠结构预估模型中,考虑了一级枝的轮枝高度、一级枝枝条数量及其累积数量的变化,并采用多

元线性回归分析构建其预估模型,模型相关系数均在 0.5 以上,尤其是轮枝高度预估模型达到 0.9012;且通过独立性检验,3 个变量的预估模型预估精度均在 92% 以上,总相对误差、平均相对误差的绝对值均在 6% 以内,模型拟合效果较好;尤其是一级枝轮枝高度预估模型的预估精度达到 97.82%,总相对误差仅为 1.52%,平均相对误差 1.45%,平均误差绝对值仅 14.97%。

针对一级枝弦长和树冠半径预估模型,刘兆刚<sup>[12]</sup>对樟子松人工林树冠变量预估模拟时,基于弦长和枝长的相关性,直接构建了基于枝长的弦长模型,其相关系数达到 0.9998;他还基于树冠半径和弦长的关系,从而直接构建了树冠半径与枝长和着枝角度正弦值的预估模型。本文则是引入测树因子,直接构建弦长、树冠半径的预估模型,从拟合模型引入自变量看,通过逐步回归分析引入的自变量一致,与自变量的相关回归参数的值正负一致,从一定程度上也说明了枝长与弦长、枝长与树冠半径的相

关性。

#### 4.2 树冠变量预估模型的解释

树冠结构与林木自身生物生态学特性、立地条件、经营管理措施等密切相关<sup>[2]</sup>。树龄是树木最基本的属性;胸径和树高是最重要的测树因子,除反映了林木生长基本特征外,也反映了一定的立地条件和林分经营管理水平。

树冠结构随年龄动态发生变化<sup>[23]</sup>。本文树冠形状变量预估中树龄变量均未通过显著性检验,而对树冠结构变量,树龄变量则均通过显著性检验,说明树龄对树冠形状变量的影响不显著,而对树冠结构变量影响显著,这可能是在模型变量中有胸径和树高变量,已经包含了一定的生长因素,从而使得树龄对树冠形状变量的影响不显著。

树高是反映立地条件的重要指标。在树冠形状变量模型中,除一级枝着枝角度预估模型外,树高变量均未通过显著性检验;而树冠结构变量预估模型中,树高变量均通过显著性检验,说明树高对树冠形状的影响不大,而显著影响一级枝枝条数量分布。

林分密度控制是森林经营管理的重要措施,胸径是反映林木生长和林分密度的重要指标,一般来说,林分密度越高,林分平均胸径越小。刁淑清等<sup>[30]</sup>对林分密度对樟子松林分平均冠长、冠幅及枝长和枝径的影响研究,发现林分密度与这些树冠变量呈负相关关系;Mäkinen<sup>[31]</sup>研究了芬兰中部不同林分密度下白桦树的枝条生长,认为林分密度影响了枝条在树干上的存活时间,密度越大,枝条从形成到脱落所需时间越短,说明随着林分密度增加,枝条数量减少。本文中除枝条分枝角度模型外,其余树冠变量均与胸径显著相关,且除枝条累积数量外,其余变量均与胸径呈正相关,这说明胸径越大,一级枝枝长、枝径、弦长和树冠半径越大,一级枝枝条数量越多;而胸径和林分密度呈负相关关系,因此也说明了林分密度影响到树冠生长及结构,且林分密度越大,一级枝枝长、枝径、弦长和树冠半径越小,一级枝枝条数量越少。

通过树冠形状及结构变量预估模型的构建,掌握了思茅松树冠结构变化规律,可以为思茅松天然林经营管理提供科学指导。

**致谢:**本研究野外调查得到了云南省普洱市林业局和思茅区林业局的大力支持,西南林业大学的梁志

刚、农世新、字俊江、王赢、焦志伟等参加了野外调查作业,西南林业大学赵平教授和马焕成教授对论文写作给予帮助,特此致谢。

#### References:

- [ 1 ] Xu C L, Zhang J L, Chen D L. Study on the affect of the crown-fullness ratio on the growth of the tree and the form of the tree-trunk. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2005, 28(3): 45-48.
- [ 2 ] Liu Y Y. *Crown Structure for Mongolian Pine Plantations* [D]. Harbin: Southeast Forestry University, 2005.
- [ 3 ] Oliver C D, Larson B C. *Forest Stand Dynamics*. New York: McGraw-Hill Publishing Company, 1990.
- [ 4 ] Oldeman R A A. *Forests: Elements of Silvology*. Heidelberg: Springer, 1990.
- [ 5 ] Hamiton G J. The dependence of volume increment of individual trees on dominance, crown dimensions, and competition. *Forestry*, 1969, 42(2): 133-144.
- [ 6 ] Collin F, Houllier F. Branchiness of Norway spruce in Northeastern France; predicting the main crown characteristics from usual tree measurements. *Annals of Forest Science*, 1992, 49(5): 511-538.
- [ 7 ] Doruska P F, Burkhart H E. Modeling the diameter and locational distribution of branches within the crowns of Loblolly pine trees in unthinned plantations. *Canadian Journal of Forest Research*, 1994, 24(12): 2362-2376.
- [ 8 ] Gilmore D W, Seymour R S. Crown architecture of *Abies balsamea* from four canopy positions. *Tree Physiology*, 1997, 17(2): 71-80.
- [ 9 ] Ishii H, Clement J P, Shaw D C. Branch growth and crown form in old coastal Douglas-fir. *Forest Ecology and Management*, 2000, 131(1/3): 81-91.
- [ 10 ] Li F R, Yang H M, Kim J H. Diameter and length growth of primary branches in a *Larix olgensis* plantation. *Journal of Korean Forestry Society*, 2002, 91(2): 219-230.
- [ 11 ] Liu Z G, Shu Y, Li F R. Modeling for primary branch length and branch diameter of Mongolian Scots pine trees. *Bulletin of Botanical Research*, 2008, 28(2): 244-248.
- [ 12 ] Liu Z G. *The Three Dimensional Computer Graphics Simulation Technique of Tree Crown Dynamic for Mongolian Scots Pine in Plantation*. Harbin: Heilongjiang Science and Technology Press, 2011.
- [ 13 ] Li F R. Modeling crown profile of *Larix olgensis* trees. *Scientia Silvae Sinicae*, 2004, 40(5): 16-24.
- [ 14 ] Wang X M, Lu J, Li F R. Crown profile simulation of major broad-leaf species of natural secondary forest in north of China. *Journal of Nanjing Forestry University: Natural Science Edition*, 2012, 36(4): 7-12.
- [ 15 ] Wei X H, Sun Y J, Huang D H. Study on crown structure for Masson pine plantation. *Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition*, 2012, 40(11): 125-130.
- [ 16 ] Liu Z G, Li F R. Modeling of spatial distribution of primary branches within the crowns of *Pinus sylvestris* stands. *Scientia*

- Silvae Sinicae, 2007, 43(10): 19-27.
- [17] Bi X L, Hong W, Wu W Z, Yan S J, Lan B. Study on fractals of crown breath of different tree in *Pinus taiwanensis* forests. Journal of Fujian College of Forestry, 2001, 21(4): 347-350.
- [18] Feng L, Hong W, Wu W Z, Wang X G, Cheng Y, Liao C Z, Fan H L. Fractal features of crown breath of different trees in different managements of Chinese fir plantation. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2003, 9(5): 455-459.
- [19] Li H G, Pan H X, Yan X J, Deng J G, Huang M R, Wang M X. The relationship between growth and fractal dimension of crown in poplar. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition, 2005, 29(2): 43-46.
- [20] Liu Z G, Liu J M, Li F R, Liu Y Y. Fractal analysis of crown structure in *Pinus sylvestris* var. *mongolica* plantation. Bulletin of Botanical Research, 2005, 25(4): 465-470.
- [21] Liu Z G, Guo C L, Yuan Z Q. Estimation of crown form for *Larix olgensis* plantation. Journal of Northeast Forestry University, 1996, 24(6): 14-20.
- [22] Wang B, Wu J S G L, Wang B T, Wang L M. Analysis of crown growth characteristics in natural *Larix gmelinii* forests. Scientia Silvae Sinicae, 2010, 46(5): 41-48.
- [23] Jiang Z L, Ye J Z. A preliminary study on the crown structure of Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*). Journal of Nanjing Institute of Forestry Industry, 1980, (4): 46-52.
- [24] Zhu S Q, He J X. The preliminary study on the law of the crown structure of Masson's pine in south-subtropical region. Journal of Guizhou Agricultural College, 1993, 12(2): 36-44.
- [25] Lu K N, Zhang H Q, Liu M, Ouyang G L. Design and implementation of individual tree growth visualization system of *Cunninghamia lanceolata*. Forest Research, 2012, 25(2): 207-211.
- [26] Compilation Committee of Yunnan Forest. Yunnan Forest. Kunming; Yunnan Science and Technology Press, Beijing; China Forestry Publishing House, 1986.
- [27] Southwest Forestry College, Forestry Department of Yunnan Province. Iconographia Arbororum Yunnanicorum. Kunming; Yunnan Science and Technology Press, 1988.
- [28] Wen Q Z, Zhao Y F, Chen X M, Yang Z X, Ai J L, Yang X S. Dynamic study on the values for ecological service function of *Pinus kesiya* forest in China. Forest Research, 2010, 23(5): 671-677.
- [29] Li J, Meng M, Qiu Q, Zhu H T, Zhai M P, Chen H W, Guo Y Q, Feng X, Liu Y G. Dynamics of biomass and productivity for young and middle-aged plantations of *Pinus kesiya* var. *langbianensis*. Journal of Northeast Forestry University, 2010, 38(8): 36-38.
- [30] Diao S Q, Shen H L, Pan J Z, Xu C Y, Han G J. Relationship between individual growth index and stand density of young *Pinus sylvestris* var. *mongolica* plantations. Journal of Northeast Forestry University, 2005, 33(6): 4-7, 13-13.
- [31] Mäkinen H. Effect of stand density on the branch development of silver birch (*Betula pendula* Roth) in central Finland. Trees, 2002, 16(4/5): 346-353.
- 参考文献:**
- [1] 徐成立, 张景兰, 陈东来. 树冠圆满度对树木生长的影响及作用研究. 河北农业大学学报, 2005, 28(3): 45-48.
- [2] 刘艳艳. 樟子松人工林树冠结构的研究 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2005.
- [11] 刘兆刚, 舒扬, 李凤日. 樟子松人工林一级枝条基径和枝长模型的研究. 植物研究, 2008, 28(2): 244-248.
- [12] 刘兆刚. 樟子松人工林树冠动态三维图形模拟技术的研究. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 2011.
- [13] 李凤日. 长白落叶松人工林树冠形状的模拟. 林业科学, 2004, 40(5): 16-24.
- [14] 王小明, 卢军, 李凤日. 北方天然次生林主要阔叶树种树冠建模及应用. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2012, 36(4): 7-12.
- [15] 魏晓慧, 孙玉军, 黄冬辉. 马尾松人工林树冠结构研究. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2012, 40(11): 125-130.
- [16] 刘兆刚, 李凤日. 樟子松人工林树冠内一级枝条空间的分布规律. 林业科学, 2007, 43(10): 19-27.
- [17] 毕晓丽, 洪伟, 吴承祯, 闫淑君, 蓝斌. 黄山松林不同树种树冠分形特征研究. 福建林学院学报, 2001, 21(4): 347-350.
- [18] 封磊, 洪伟, 吴承祯, 王新功, 程煜, 廖成章, 范海兰. 杉木人工林不同经营模式树冠的分形特征. 应用与环境生物学报, 2003, 9(5): 455-459.
- [19] 李火根, 潘惠新, 严相进, 邓建国, 黄敏仁, 王明麻. 杨树树冠分维数与生长的相关关系. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2005, 29(2): 43-46.
- [20] 刘兆刚, 刘继明, 李凤日, 刘艳艳. 樟子松人工林树冠结构的分形分析. 植物研究, 2005, 25(4): 465-470.
- [21] 刘兆刚, 郭承亮, 袁志强. 落叶松人工林树冠形状的预估. 东北林业大学学报, 1996, 24(6): 14-20.
- [22] 王宝, 乌吉斯古楞, 王百田, 王立明. 兴安落叶松天然林树冠生长特性分析. 林业科学, 2010, 46(5): 41-48.
- [23] 姜志林, 叶镜中. 杉木树冠形态结构的初步研究. 南京林产工业学院学报, 1980, (4): 46-52.
- [24] 朱守谦, 何纪星. 南亚热带马尾松树冠构成规律初步研究. 贵州农学院学报, 1993, 12(2): 36-44.
- [25] 卢康宁, 张怀清, 刘闯, 欧阳国良. 杉木单木生长可视化模拟系统设计与实现. 林业科学研究, 2012, 25(2): 207-211.
- [26] 云南森林编写委员会. 云南森林. 昆明: 云南科技出版社, 北京: 中国林业出版社, 1986.
- [27] 西南林学院, 云南省林业厅. 云南树木图志. 昆明: 云南科技出版社, 1988.
- [28] 温庆忠, 赵远藩, 陈晓鸣, 杨子祥, 艾建林, 杨晓松. 中国思茅松林生态服务功能价值动态研究. 林业科学研究, 2010, 23(5): 671-677.
- [29] 李江, 孟梦, 邱琼, 朱宏涛, 翟明普, 陈宏伟, 郭永清, 冯弦, 刘永刚. 思茅松中幼龄人工林生物量及生产力动态. 东北林业大学学报, 2010, 38(8): 36-38.
- [30] 刁淑清, 沈海龙, 潘建中, 徐程扬, 韩国君. 樟子松人工幼林密度与个体生长指标的关系. 东北林业大学学报, 2005, 33(6): 4-7, 13-13.



**ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.7 Apr., 2014 (Semimonthly)**  
**CONTENTS**

**Frontiers and Comprehensive Review**

- The 5000-year climate change of northeastern Qinghai-Tibetan Plateau and historical ecology of Zoige wetlands ..... HE Yixin, WU Ning, ZHU Qiu'an, et al (1615)
- Altitudinal distribution rule of *Picea schrenkiana* forest's soil organic carbon and its influencing factors ..... Aminem ELI, CHANG Shunli, ZHANG Yutao, et al (1626)

**Autecology & Fundamentals**

- Daily stem radial variation of *Pinus koraiensis* and its response to meteorological parameters in Xiaoxing' an mountain ..... LI Xinghuan, LIU Ruipeng, MAO Zijun, et al (1635)
- Effects of logging residues on surface soil biochemical properties and enzymatic activity ..... WU Bobo, GUO Jianfen, WU Junjun, et al (1645)
- Characteristics of soil macroaggregates under typical forests in Pangquangou Nature Reserve ..... BAI Xiumei, HAN Youzhi, GUO Hanqing (1654)
- Modeling tree crown structure of Simao pine (*Pinus kesiya* var. *langbianensis*) natural forest ..... OU Guanglong, XIAO Yifa, WANG Junfeng, et al (1663)
- Influence of magnesium deficiency and excess on chlorophyll fluorescence characteristics of Newhall navel orange leaves ..... LING Lili, HUANG Yi, PENG Liangzhi, et al (1672)
- Seed foraging and dispersal of Chinese yew (*Taxus chinensis* var. *mairei*) by frugivorous birds within patchy habitats ..... LI Ning, WANG Zheng, LU Changhu, et al (1681)
- Interactions between heavy metal lead and two freshwater algae ..... LIU Lu, YAN Hao, LI Cheng, et al (1690)
- Annual variations of the primary productivity and its size-fractioned structure in culture ponds of *Apostichopus japonicus* Selenka ..... JIANG Senhao, ZHOU Yibing, TANG Boping, et al (1698)
- Growth and photosynthetic activity of *Microcystis* colonies after gut passage through silver carp and bighead carp ..... WANG Yiping, GU Xiaohong, ZENG Qingfei, et al (1707)
- Contents of two coumarins in *Ipomoea cairica* and their effects on *Pomacea canaliculata*, *Orzya sativa*, and *Echinochloa crusgalli* ..... YOU Changyan, YANG Yu, HU Fei, et al (1716)

**Population, Community and Ecosystem**

- Population and habitat status of Asian elephants (*Elephas maximus*) in Mengla Sub-reserve of Xishuangbanna National Nature Reserve, Yunnan of China ..... LIN Liu, JIN Yanfei, CHEN Dekun, et al (1725)
- Seasonal changes of functional guilds of fish community in Laizhou Bay, East China ..... LI Fan, XU Bingqing, MA Yuanqing, et al (1736)
- Effect of long-term fertilization pattern on weed community diversity in wheat field ..... JIANG Min, SHEN Mingxing, SHEN Xinping, et al (1746)
- Ecological process of water transformation in furrow and ridge mulching system in oat field under extreme drought scenario ..... ZHOU Hong, ZHANG Hengjia, MO Fei, et al (1757)

**Landscape, Regional and Global Ecology**

- Simulations and analysis on the effects of landscape pattern change on flood and low flow based on SWAT model ..... LIN Bingqing, CHEN Xingwei, CHEN Ying, et al (1772)
- Phenological variation of alpine grasses (Gramineae) in the northeastern Qinghai-Tibetan Plateau, China during the last 20 years ..... XU Weixin, XIN Yuanchun, ZHANG Juan, et al (1781)
- Landscape aesthetics in different areas of Lijiang City ..... GUO Xianhua, ZHAO Qianjun, CUI Shenghui, et al (1794)
- Temporal and spatial pattern of *Scenedesmus* in the river web of the Pearl River Delta, China ..... WANG Chao, LI Xinhui, LAI Zini, et al (1800)

- Spatiotemporal dynamics of bacterial abundance and related environmental parameters in Lake Bosten .....  
 ..... WANG Bowen, TANG Xiangming, GAO Guang, et al (1812)
- Scale domain recognition for land use spatial fractal feature based on genetic algorithm .....  
 ..... WU Hao, LI Yan, SHI Wenzhong, et al (1822)
- Relationships of stable carbon isotope of *Abies faxoniana* tree-rings to climate in sub-alpine forest in Western Sichuan .....  
 ..... JIN Xiang, XU Qing, LIU Shirong, et al (1831)
- An exploratory spatial data analysis-based investigation of the hot spots and variability of *Ommastrephes bartramii* fishery resources  
 in the northwestern  
 Pacific Ocean ..... FENG Yongjiu, CHEN Xinjun, YANG Mingxia, et al (1841)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- Spatial differentiation research of non-use value WTP based on the residents' ecological cognition: taking the sanjiang plain as a case  
 ..... GAO Qin, AO Changlin, CHEN Hongguang, et al (1851)
- Contamination characteristics in surface water and coastal groundwater of Hunhe River .....  
 ..... CUI Jian, DU Jizhong, WANG Xiaoguang (1860)
- Social ecological system and vulnerability driving mechanism analysis ..... YU Zhongyuan, LI Bo, ZHANG Xinshi (1870)
- Research Notes**
- Effects of iso-osmotic  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  and NaCl stress on growth and physiological characteristics of cucumber seedlings .....  
 ..... ZHOU Heng, GUO Shirong, SHAO Huijuan, et al (1880)
- View Point**
- The discussion about the designation and content of ecological conservation and construction ..... SHEN Guofang (1891)

# 《生态学报》2014 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,探索生态学奥秘,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,280 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 魏辅文 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 34 卷 第 7 期 (2014 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 7 (April, 2014)

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