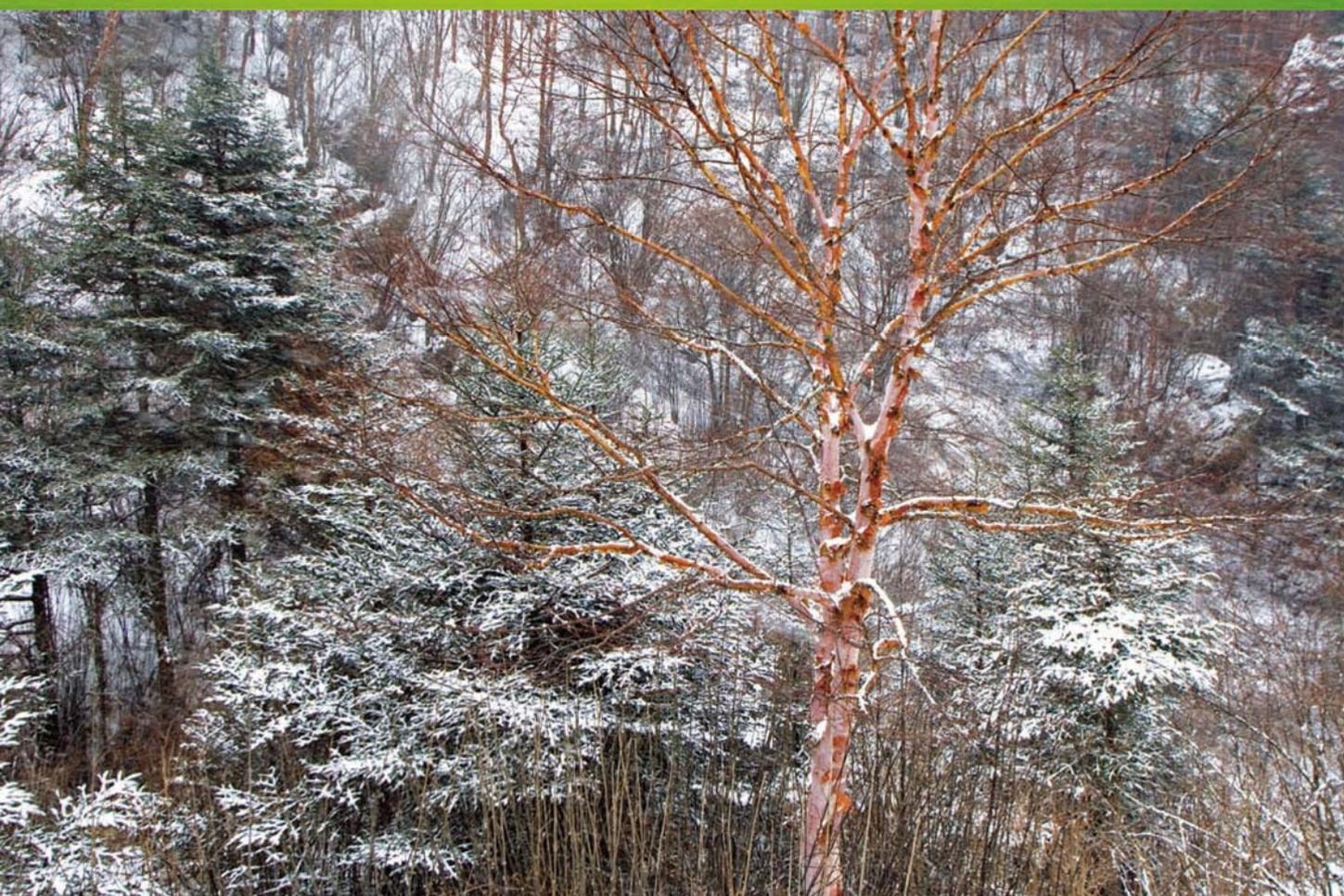


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

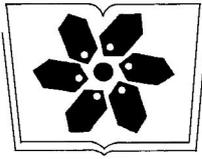
Acta Ecologica Sinica



第34卷 第8期 Vol.34 No.8 **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 8 期 2014 年 4 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 海洋浮游纤毛虫生长率研究进展..... 张武昌,李海波,丰美萍,等 (1897)
- 城市森林调控空气颗粒物功能研究进展..... 王晓磊,王 成 (1910)
- 雪地生活跳虫研究进展..... 张 兵,倪 珍,常 亮,等 (1922)

个体与基础生态

- 黄河三角洲贝壳堤岛叶底珠叶片光合作用对 CO₂ 浓度及土壤水分的响应.....
..... 张淑勇,夏江宝,张光灿,等 (1937)
- 米楮人促更新林与杉木人工林叶片及凋落物溶解性有机物的数量和光谱学特征.....
..... 康根丽,杨玉盛,司友涛,等 (1946)
- 利用不同方法测定红松人工林叶面积指数的季节动态..... 王宝琦,刘志理,戚玉娇,等 (1956)
- 环境变化对兴安落叶松氮磷化学计量特征的影响 平 川,王传宽,全先奎 (1965)
- 黄土塬区不同土地利用方式下深层土壤水分变化特征 程立平,刘文兆,李 志 (1975)
- 土壤水分胁迫对拉瑞尔小枝水分参数的影响..... 张香凝,孙向阳,王保平,等 (1984)
- 遮荫处理对臭柏幼苗光合特性的影响..... 赵 顺,黄秋娴,李玉灵,等 (1994)
- 漓江水陆交错带典型立地根系分布与土壤性质的关系..... 李青山,王冬梅,信忠保,等 (2003)
- 梭梭幼苗的存活与地上地下生长的关系..... 田 媛,塔西甫拉提·特依拜,李 彦,等 (2012)
- 模拟酸雨对西洋杜鹃生理生态特性的影响..... 陶巧静,付 涛,项锡娜,等 (2020)
- 岩溶洞穴微生物沉积碳酸钙——以贵州石将军洞为例..... 蒋建建,刘子琦,贺秋芳,等 (2028)
- 桂东北稻区第七代褐飞虱迁飞规律及虫源分析..... 齐会会,张云慧,蒋春先,等 (2039)

种群、群落和生态系统

- 鄱阳湖区灰鹤越冬种群数量与分布动态及其影响因素..... 单继红,马建章,李言阔,等 (2050)
- 雪被斑块对川西亚高山两个森林群落冬季土壤氮转化的影响..... 殷 睿,徐振锋,吴福忠,等 (2061)
- 小秦岭森林群落数量分类、排序及多样性垂直格局 陈 云,王海亮,韩军旺,等 (2068)
- 2012 年夏季挪威海和格陵兰海浮游植物群落结构的色素表征 王肖颖,张 芳,李娟英,等 (2076)
- 云南花椒园中昆虫群落特征的海拔间差异分析..... 高 鑫,张立敏,张晓明,等 (2085)
- 人工湿地处理造纸废水后细菌群落结构变化..... 郭建国,赵龙浩,徐 丹,等 (2095)
- 极端干旱区尾间湖生态需水估算——以东居延海为例 张 华,张 兰,赵传燕 (2102)

景观、区域和全球生态

- 秦岭重点保护植物丰富度空间格局与热点地区…………… 张殷波,郭柳琳,王伟,等 (2109)
- 太阳辐射对黄河小浪底人工混交林净生态系统碳交换的影响…………… 刘佳,同小娟,张劲松,等 (2118)
- 黄土丘陵区油松人工林生态系统碳密度及其分配…………… 杨玉姣,陈云明,曹扬 (2128)
- 湘潭锰矿废弃地不同林龄栎树人工林碳储量变化趋势…………… 田大伦,李雄华,罗赵慧,等 (2137)

资源与产业生态

- 湘南某矿区蔬菜中 Pb、Cd 污染状况及健康风险评估…………… 吴燕明,吕高明,周航,等 (2146)

城乡与社会生态

- 北京市主要建筑保温材料生命周期与环境经济效益评价…………… 朱连滨,孔祥荣,吴宪 (2155)
- 城市地表硬化对银杏生境及生理生态特征的影响…………… 宋英石,李锋,王效科,等 (2164)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 276 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 29 * 2014-04



封面图说: 冷杉红桦混交林雪——冷杉是松科的一属,中国是冷杉属植物最多的国家,约 22 种 3 个变种。冷杉常常在高纬度地区至低纬度的亚高山至高山地带的阴坡、半阴坡及谷地形成纯林,或与性喜冷湿的云杉、落叶松、铁杉和某些松树及阔叶树组成针叶混交林或针阔混交林。冷杉具有较强的耐阴性,适应温凉和寒冷的气候,土壤以山地棕壤、暗棕壤为主。川西、滇北山区的冷杉林往往呈混交状态,冷杉红桦混交林为其中重要的类型。雪被对冷杉林型冬季土壤氮转化影响的研究对揭示高山森林对气候变化的响应及其适应机制提供重要的理论支持。

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/stxb201306181727

王宝琦, 刘志理, 戚玉娇, 金光泽. 利用不同方法测定红松人工林叶面积指数的季节动态. 生态学报, 2014, 34(8): 1956-1964.

Wang B Q, Liu Z L, Qi Y J, Jin G Z. Seasonal dynamics of leaf area index using different methods in the Korean pine plantation. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(8): 1956-1964.

利用不同方法测定红松人工林叶面积指数的季节动态

王宝琦¹, 刘志理¹, 戚玉娇², 金光泽^{1,*}

(1. 东北林业大学生态研究中心, 哈尔滨 150040; 2. 东北林业大学林学院, 哈尔滨 150040)

摘要: 采用 2 种异速生长方程法、凋落物法、综合法(对光学仪器法进行木质部分及集聚效应校正后结合凋落物法)和光学仪器法测定了小兴安岭红松(*Pinus koraiensis*)人工林的叶面积指数(LAI)。首先利用光学仪器法测定有效叶面积指数(L_e)的季节动态;其次为获得相对准确 LAI, 基于生长季节(5—8 月)的展叶调查, 结合凋落物法、综合法和 2 种异速生长方程法分别测定 LAI 的季节动态。结果表明: 生长季节红松叶片 8 月初停止生长, 迟于其他树种约两周; 不同方法测定红松人工林 LAI 的季节变化均呈单峰型, 且在 8 月初达到峰值, 分别为异速生长方法-B(10.58) > 凋落物法(7.90) > 异速生长方法-A(6.70) > 综合法(4.41) > 光学仪器法(1.81); 在整个调查期内(5 月至 11 月), 相对于异速生长方法-B、凋落物法、异速生长方法-A 和综合法, 光学仪器法分别平均低估 81.69%、75.50%、70.18% 和 48.90%。本研究探讨了非破坏条件下测定红松人工林 LAI 季节动态的直接方法, 并比较了不同方法之间的差异, 研究结果可为有效测定常绿针叶林 LAI 提供参考。

关键词: 小兴安岭; 叶面积指数; 展叶调查; 光学仪器法; 凋落物法; 异速生长方程法; 季节动态

Seasonal dynamics of leaf area index using different methods in the Korean pine plantation

WANG Baoqi¹, LIU Zhili¹, QI Yujiao², JIN Guangze^{1,*}

1 Center for Ecological Research, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

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

Abstract: Leaf area index (LAI), defined as half the total leaf area per unit ground surface area, and is one of the most important characteristics of the plant canopy structure. LAI controls the flux of carbon, solar energy, and water in forest ecosystems. Thus, accurately estimating LAI is essential for simulating the forest process. Furthermore, the seasonality of LAI estimation is of particular interest. Methods directly estimating LAI mainly include destructive sampling, allometry, and litterfall. The results of these methods are assumed to provide values close to the true LAI. However, the first two methods destroy the samples, as well as labor intensive. By contrast, the litterfall method is the best choice in obtaining accurate LAI. At present, the optical method has been widely used to estimate LAI because of its convenience and speed. However, the accuracy of optically measured LAI needs to be verified. This verification is performed because the indirect method often underestimates LAI. In the present study, allometry method (including two different allometry equations, namely, A and B), litterfall method, combinational method (the LAI derived from optical method were calibrated by taking into consideration the woody-to-total ratio (α), as well as the clumping index, and combining the litterfall method), and optical method were used to estimate LAI in the Korean pine (*Pinus koraiensis*) plantation in Xiaoxing'an Mountains. First, we estimated the effective leaf area index (L_e) and its seasonality in the Korean pine plantation using optical method

基金项目: 林业公益性行业科研专项资助项目(201204320); 长江学者和创新团队发展计划资助(IRT1054)

收稿日期: 2013-06-18; 修订日期: 2013-12-26

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

(hemispherical photography). To obtain accurate LAI, we estimated the LAI seasonal dynamics by combining litterfall method, combinational method, and allometry methods in accordance with the leaf seasonality observation from May to August. Subsequently, we compared the results obtained from the different methods. The results showed that *P. koraiensis* leaf stopped growing in early August, which was approximately two weeks later than the other tree species. The major species had different leaf fall pattern in the Korean pine plantation. *P. koraiensis* had two rapidly decreasing flush. The first flush was in June. The second was in late September. However, other species had single rapidly decreasing flush in late September. The LAI seasonal dynamic derived from different methods all show a uni-modal pattern with a peak in early August, with the following order: Allometry-B method (10.58) > Litterfall method (7.90) > Allometry-A method (6.70) > Combinational method (4.41) > Optical method (1.81). In the entire study period (from May to November), the LAI derived from optical method underestimated LAI by an average of 81.69%, 75.50%, 70.18%, and 48.90%, respectively, which were in contrast with contrast Allometry-B method, Litterfall method, Allometry-A method, and Combinational method. In the present study, we investigated a practical method for estimating LAI in the Korean pine plantation using a non-destructive method. Furthermore, we compared the difference between the different methods. In addition, this study lays a foundation for the valid LAI estimation of evergreen conifer forest in subsequent studies.

Key Words: Xiaoxing'an Mountains; leaf area index; leaf seasonality observation; optical method; litterfall method; allometry method; seasonal dynamics

叶面积指数(LAI)指单位水平地面面积上总叶面积的一半^[1],是量化植物冠层结构最常用参数之一,是森林生态系统中生态生理学模型的基本林冠结构参数^[2],决定着众多植被林冠机能,如光合、呼吸、蒸腾作用及截留降雨^[3-5]。LAI的季节变异是森林生态系统生产力、林下植被更新及其多样性的决定因素^[6]。准确地测定 LAI 对于评估生态系统对气候变化、生物地球化学循环的响应至关重要^[7]。

直接测定 LAI 的方法经典、成熟且相对精确,主要包括破坏性取样法、异速生长方程法、凋落物法^[8]。破坏性取样法是将一定地面范围内的所有叶子取下并计算其叶面积,广泛应用于农作物及牧草 LAI 的测定,也应用于冠幅较小树木 LAI 的测定,但费时费力,且具有破坏性^[9]。异速生长方程法是根据叶片生物量与胸径或边材面积的关系建立方程^[10-12],结合不同树种的比叶面积(SLA)计算 LAI,结果相对精确,但也具有一定的破坏性,且不易获得 LAI 季节动态数据。凋落物法,避免了破坏性取样,多适用于测定落叶林型 LAI^[13, 9],近年来也有利用该方法测定常绿林 LAI 的研究报道^[2, 14],但其结果的准确性还需要探讨。间接测定法通常是利用光学仪器在不破坏林木、不干扰冠层结构的前提下,简便、迅速地获取一些参数来反演 LAI,且能提供 LAI 的季节动态数据而逐渐发展并被广泛应用。但光学

仪器法测定 LAI 时忽略了林冠中存在的集聚效应,且不能有效区分叶片和木质部分,因此该方法测定的 LAI 被认为是有效 LAI(L_e)^[15],其精度需要通过直接法测定值进行检验和校准。

关于直接法和间接法的对比研究报道较多。李轩然等^[16]利用胸径与生物量的异速生长方程结合各树种的 SLA,得到千烟洲针叶林 LAI,且与光学仪器测定的 LAI 进行对比,结果表明光学仪器法测定值存在低估现象;马泽清等^[17]利用异速生长方程及光学仪器法测定了几种南方人工林的 LAI,得到光学仪器法测定值明显低于异速生长方程法;Jonckheere 等^[18]对比分析了异速生长方程与光学仪器法测定的 LAI,结果证明前者测定的 LAI 是后者的 2 倍;Nasahara 等^[19]结合展叶调查与凋落物法直接测定了日本中部寒温带落叶阔叶林 LAI 的季节动态,相对于该方法,光学仪器测定值最高低估程度达 50%;Majasalmi 等^[12]通过光学仪器和异速生长方程法测定了欧洲赤松(*Pinus sylvestris*)和挪威云杉(*Picea abies*)等林型的 LAI,并指出对光学仪器测定值进行针簇水平上集聚效应的校正后效果更佳。然而国内利用不同方法测定常绿针叶林 LAI 季节动态的研究尚少。

红松(*Pinus koraiensis*)人工林是我国东北东部山区主要人工林类型之一,本研究利用异速生长方

程法、凋落物法、综合法(本研究将结合校正光学仪器值和凋落物测定 LAI 的方法称为综合法)及光学仪器法分别测定小兴安岭地区红松人工林 LAI 及其季节变化特征,以期为相对准确、有效地测定类似林型冠层 LAI 季节动态提供参考,并为该区域的森林生产力及生态进程模拟提供基础参数和科学依据。

1 材料和方法

1.1 研究区域概况

野外调查在黑龙江省凉水国家级自然保护区(47°10'50"N、128°53'20"E)进行,保护区位于黑龙江省伊春市带岭区,属小兴安岭南部落带岭支脉的东坡。地形比较复杂,最高山脉海拔 707.3 m。本区

属于温带大陆性季风气候,年均气温-0.3℃,年均最高气温 7.5℃,年均最低气温-6.6℃。年平均降水量 676 mm,且多集中在 7 月份。积雪期 130—150 d,无霜期 100—120 d。

1.2 样点设置

设置 3 个 20 m × 30 m 的红松人工林固定样地(物种组成见表 1)。每个样地中随机布设 6 个样点,各样点处布设 1 个凋落物收集器,凋落物收集器是用径粗 8 mm 的铁丝和尼龙网围成(孔径 1 mm,深 0.5—0.6 m),网口为正方形,面积为 0.5 m²,凋落网底离地面 0.5 m 左右;各凋落物收集器旁边固定 3 根 30 cm 长度的 PVC 管,用于确定光学仪器采集数据的位置。

表 1 小兴安岭红松人工林物种组成

Table 1 Species composition of the Korean pine plantation in Xiaoxing'an Mountains

树种 Species	密度 Density/ (株/hm ²)	胸高断面积 Basal area/ (m ² /hm ²)	平均胸径 Average DBH/cm	平均树高 Average Height/m
红松 <i>Pinus koraiensis</i>	944	20.96	15.44	14.23
云杉 <i>Picea</i> spp.	56	1.92	11.89	11.14
兴安落叶松 <i>Larix gmelini</i>	72	2.96	20.32	17.80
白桦 <i>Betula platyphylla</i>	61	3.23	23.82	18.85
水曲柳 <i>Fraxinus mandshurica</i>	33	0.79	15.90	14.22
黄菠萝 <i>Phellodendron amurense</i>	56	1.90	20.09	16.55
毛赤杨 <i>Alnus sibirica</i>	6	0.48	33.70	26.40
其他 Others	778	1.50	11.07	10.47
总计 Total	1973	33.29	11.48	10.70

起测胸径(DBH)为 1.0 cm

1.3 展叶调查

本研究中对红松,云杉(*Picea* spp.),兴安落叶松(*Larix gmelini*),白桦(*Betula platyphylla*)及水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)五种主要树种的叶面积增长状况进行监测,监测日期为 2012 年 5 月 1 日、5 月 17 日、5 月 24 日、6 月 3 日、6 月 11 日、6 月 20 日、7 月 4 日、7 月 19 日及 8 月 1 日。常绿树种和落叶树种的监测方式略有差异。对于常绿树种,各树种选择 3 棵样树,各样树上随机选择 20 个样枝,在各时期监测以下内容:新枝的长度;在新枝上随机选择 5—10 个样针测定其针叶长度。根据以下公式可得到常绿针叶树种各时期各样枝上的总叶面积:

$$NA_i = LA_i \times L_i \times N_i \quad (1)$$

式中, NA_i 为树种 i 每个样枝上的总针叶面积; LA_i 为树种 i 每个针叶的叶面积; L_i 为树种 i 各调查时期样

枝的长度; N_i 为树种 i 单位样枝(1 cm)上针叶的数量。本研究中,假设红松针叶的横截面为等边三角形,云杉针叶的横截面为正方形,单个针叶面积具体计算公式参照 Liu 等^[20]。

对于落叶树种,各树种选择 3 棵样树,各样树上随机选择 1 个样枝,在各时期监测各样枝上所有叶子的叶长和叶宽。根据以下公式可得到各样枝上的总叶面积:

$$LA_i = \sum L_{ij} \times W_{ij} \times m_i \quad (2)$$

式中, LA_i 为树种 i 样枝上所有叶子的总叶面积; L_{ij} 为树种 i 样叶 j 的叶长; W_{ij} 为树种 i 样叶 j 的叶宽; m_i 为树种 i 的叶面积的调整系数,本研究中主要落叶树种叶面积的调整系数参考 Liu 等^[20],兴安落叶松是通过扫描法获得成熟时期单个叶片的真实叶面积,而

后除以其长宽乘积,获得叶面积的调整系数,其值为 0.63。

利用各树种叶面积最大时期各样枝上所有新生叶片的总叶面积,将其他时期样枝上所有新生叶片的总叶面积进行标准化,既得到各树种生长季节新生叶的叶面积增加比例,本研究中落叶树种利用叶面积增加比例代替 LAI 增加比例。

1.4 光学仪器法

半球摄影法(光学仪器法)采用 Winscanopy2006 冠层分析仪(Regent, Instruments Inc., Quebec, Canada)采集数据,主要由数码相机(Coolpix 4500, Nikon, Tokyo, Japan)和 180°鱼镜头(Nikon FC-E8)组成。生长季节图像采集时间与展叶调查同步,9—11月,每两周采集 1 次。采集数据时避免直射光,选择阴天或日出、日落前后,保持镜头离地面 1.3 m。采集图像时,相机和鱼镜头保持水平,设置自动曝光状态。

1.5 凋落物法

分别于 2011、2012 年的 5 月初至 9 月,每月收集 1 次凋落物,9—11 月每两周收集 1 次,收集完放入写好标签的塑料袋内,带回实验室,按树种将凋落叶分开。分别称重后,及时将选取的样品在 65 °C 下烘干至恒重,测其干重,结合各树种的 SLA,得到各树种在各样点各时期因凋落产生的 LAI,各树种 SLA 参照 Liu 等^[20]的研究结果。生长季节(5 月初至 9 月)将每月凋落物总量按照展叶调查日期等分,获得各个展叶调查监测时期因凋落产生的 LAI。

落叶树种,通过累加落叶季节(8—11 月)的凋落叶产生的 LAI 可得到全年最大时期(8 月初)的 LAI,最大值结合生长季节新生叶 LAI 的增加比例可得到生长季节各时期的 LAI,最大值依次减去落叶季节凋落叶产生的 LAI 可得到落叶季节各时期的 LAI,从而得到各落叶树种 LAI 的季节动态(5—11 月)。

常绿针叶树种全年均有凋落现象,因此生长季节各时期的 LAI 可通过以下公式计算:

$$LAI = LAI_{5.1} + \Delta LAI - LAI_{litter} \quad (3)$$

式中, $LAI_{5.1}$ 为 5 月 1 日常绿针叶树种林冠上的 LAI,此时林冠上几乎不存在落叶树种的叶片,只存在常绿针叶,可根据上一年常绿针叶 8 月份的 LAI 值减去 8—次年 5 月份凋落针叶产生的 LAI 获得,而本研究通过先测定一定周期内(以 11—次年 11 月份为周

期,即 1a)凋落针叶产生的 LAI,乘以针叶的存活周期即得到常绿针叶树种最大时期的 LAI,本研究区域内红松的平均存活周期为 4a^[21-22],云杉的平均存活周期为 5a^[22]; ΔLAI 为各时期通过展叶增加的 LAI; LAI_{litter} 为展叶测定周期内针叶凋落产生的 LAI。

常绿针叶树种通过展叶增加的总 LAI(ΔLAI_{total}) 通过以下公式得到:

$$\Delta LAI_{total} = LAI_{11.1} + LAI_{litter} - LAI_{5.1} \quad (4)$$

式中, $LAI_{11.1}$ 为 11 月初常绿针叶树种林冠上的 LAI,根据最大时期 LAI 减去 8—11 月针叶凋落产生的 LAI 获得; LAI_{litter} 为 5—11 月针叶凋落产生的 LAI; $LAI_{5.1}$ 为 5 月 1 日常绿针叶树种林冠上的 LAI。 ΔLAI_{total} 结合常绿针叶生长季节新生针叶 LAI 增加比例即可得到各树种各时期通过展叶增加的 LAI (ΔLAI),然后结合公式(3)即可得到各时期的总 LAI,同时利用最大时期总 LAI 将其标准化,可得到针叶树种各生长季节总 LAI 的增加比例。

常绿针叶树种落叶季节 LAI 的动态变化可通过各针叶树种最大时期 LAI 减去落叶季节针叶凋落产生的 LAI 获得,结合生长季节动态变化即可得到各针叶树种 LAI 的季节动态。综合各针、阔叶树种即可得到整个林分 LAI 的季节动态。

1.6 异速生长方程法

各树种的异速生长方程采用 Wang^[23](以下为异速生长方程-A)和董利虎等^[24](以下为异速生长方程-B)的关于叶生物量与胸高直径之间的相关关系,结合 SLA 得到各树种最大时期的 LAI,而后结合生长季节各个时期总 LAI 的增加比例及落叶季节的凋落物数据,可得到 LAI 的季节动态。本文在计算常绿针叶树种最大时期 LAI 时,没有考虑 LAI 的年际差异。

1.7 综合法

大部分光学仪器计算 LAI 是在林冠内叶片随机分布的假设下,且忽略了树干等木质部分的影响,因此为得到准确 LAI 需要进行合理校正,经过前人理论的发展及验证, $LAI(L)$ 计算如下^[25]:

$$L = (1 - \alpha) L_e \frac{\gamma_E}{\Omega_E} \quad (5)$$

式中, L_e 为有效叶面积指数; α 为木质部分面积占总面积的比率; γ_E 为针叶针面积与簇面积的比率,用于量化针簇内集聚现象,本研究中红松及云杉的 γ_E 根

据 Liu 等^[20]方法测定,分别为 1.77 及 1.28,再根据两树种的胸高断面面积比例加权得到该林分的针簇比; Ω_E 为集聚指数,用于量化冠层水平集聚效应。

本研究通过公式(5)得到 5 月初及 11 月初常绿针叶树种较准确的总 LAI,根据各树种胸高断面面积比例得到各常绿针叶树种该时期的 LAI,通过公式(3, 4),结合生长季节 LAI 增加比例及凋落物数据即可得到常绿针叶树种 LAI 的季节动态;落叶树种的季节动态与凋落物法相同。综合各针、阔叶树种即可得到整个林分 LAI 的季节动态。

1.8 数据处理

利用 Photoshop CS 8.01 (Adobe Systems Inc, USA)软件中的仿制像章工具消除 5 月初及 11 月初半球摄影图像中树干等木质部分的影响(用 α 值表示)^[20],对两个时期的值进行 t 检验。半球摄影图像

采用广泛应用的 DHP (Digital Hemispherical Photography) 软件处理,处理时提取 30—60° 天顶角范围内的 LAI。5 月初及 11 月初冠层水平上的集聚效应(用 Ω_E 值表示)采用 DHP-TRACWin 软件^[26-27]计算得到的 Ω_E 值校正,校正时选用天顶角 40—45° 测量 Ω_E ,对两个时期的值进行 t 检验。

2 结果与分析

2.1 木质部分所占比例(α)及集聚指数(Ω_E)

5 月及 11 月初,木质部分产生的误差之间不存在显著差异($P>0.05$) (表 2),且均占总 LAI 的 13%,表明此时常绿树种产生的 LAI 占光学仪器测定 LAI 值的最大比例为 87%;5 月初各样点冠层水平上的集聚效应略大于 11 月初($P>0.05$),分别为 0.90 ± 0.04 、 0.92 ± 0.03 。

表 2 小兴安岭红松人工林木质部分所占比例及集聚指数($n=18$)

Table 2 The woody-to-total area ratio and clumping index in the Korean pine plantation in Xiaoxing'an Mountains ($n=18$)

参数 Parameters	5 月 1 日 May 1st			11 月 1 日 November 1st		
	最大值 Maximum	最小值 Minimum	平均值±标准差 Mean±SD	最大值 Maximum	最小值 Minimum	平均值±标准差 Mean±SD
α	0.23	0.03	$0.13^a \pm 0.05$	0.21	0.02	$0.13^a \pm 0.05$
Ω_E	0.97	0.83	$0.90^a \pm 0.04$	0.98	0.87	$0.92^a \pm 0.03$

同行相同小写字母表示参数在不同日期内差异不显著($P>0.05$)

2.2 主要树种叶面积增加比例

总体而言,叶面积增加比例树种间存在明显差异(表 3)。针叶树种中,红松展叶起始时间迟于兴安落叶松,长势较平缓,展叶几乎持续整个调查期,6 月中旬进入生长高峰期,持续约 1 个月;兴安落叶松于 5 月上半月进入展叶高峰期,至 6 月初展叶已完

成全年叶面积增长量的 89%;而云杉 5 月后半月开始展叶,且快速生长持续约两周,6 月上旬展叶已完成 96%,7 月初停止生长。阔叶树种中,水曲柳展叶起始时间较晚,6 月初进入生长高峰期,持续约一个月,7 月初展叶已完成 97%;白桦叶增长相对平缓,展叶几乎持续整个调查期,即 5—8 月。

表 3 小兴安岭红松人工林主要树种叶面积增加比例

Table 3 Leaf area growth ratio for major species in the Korean pine plantation in Xiaoxing'an Mountains

日期/儒历日 Month to Day/Julian day	红松 <i>P. koraiensis</i>	云杉 <i>Picea</i> spp.	兴安落叶松 <i>L. gmelini</i>	白桦 <i>B. platyphylla</i>	水曲柳 <i>F. mandshurica</i>	其他 Others
05-01/121	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
05-17/137	0.01	0.00	0.69	0.05	0.00	0.09
05-24/144	0.01	0.46	0.85	0.15	0.00	0.51
06-03/154	0.08	0.86	0.89	0.28	0.10	0.76
06-11/162	0.13	0.96	0.92	0.29	0.35	0.85
06-20/171	0.27	0.99	0.96	0.45	0.75	0.93
07-04/185	0.59	1.00	0.98	0.68	0.97	0.97
07-19/200	0.83	1.00	0.99	0.84	1.00	1.00
08-05/217	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

2.3 凋落物动态

红松人工林内主要组成树种的叶凋落物候有明显差异(图 1)。红松存在两个明显的落叶高峰期,在 6 月最先达到第 1 个落叶高峰,第 2 个出现在 9 月下半月,在 10 月后仍存在叶凋落现象,这与常绿针叶树种自身特性有关。而白桦、水曲柳、兴安落叶松及其他树种均存在一个明显落叶高峰期,其中白桦最先在 8 月份达到落叶高峰期,且是唯一在 6、7 月份即出现明显凋落现象的落叶树种,11 月初叶凋落基本结束;水曲柳叶凋落持续时间最短,9 月上半月进入落叶高峰期,9 月下半月叶凋落量次之,至 10 月中旬叶凋落基本结束;其他树种叶凋落较少,且凋落较平缓;兴安落叶松落叶较晚,8 月份开始出现凋落现象,且至 10 月初凋落叶仅占总量的 11.88%,10 月上半月进入落叶高峰期,持续约 2 周,10 月下半月仍出现少量叶凋落。

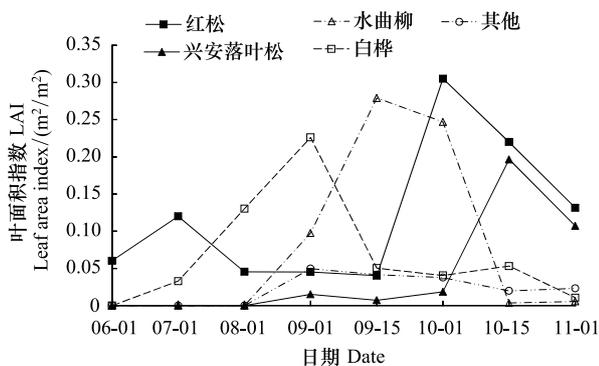


图 1 各调查时期红松人工林主要树种凋落物产生的 LAI
Fig.1 LAI estimated from litter of major species in the Korean pine plantation during the investigation periods

2.4 主要树种的最大叶面积指数(LAI_{max})特征

总体看来,红松人工林内红松 LAI_{max}时期的 LAI 在所有树种中占绝对优势,主要源于红松为优势树种(相对优势度为 62.97%)(图 2)。不同方法测定红松 LAI 的排列顺序为:异速生长方程法-B(6.46)>凋落物法(5.59)>异速生长方程法-A(3.92)>综合法(2.40)。对于所有落叶树种,异速生长方程法-B 测定的 LAI 大于其他方法。综合法测定的 LAI 普遍较低,常绿针叶树种尤为明显。

2.5 不同方法测定 LAI 季节动态

整个调查期内,不同方法测定的 LAI 均呈单峰型,5 月初值最小,持续增长至 8 月初达到峰值,9 月中旬前 LAI 减小幅度较小,后因进入落叶高峰期 LAI

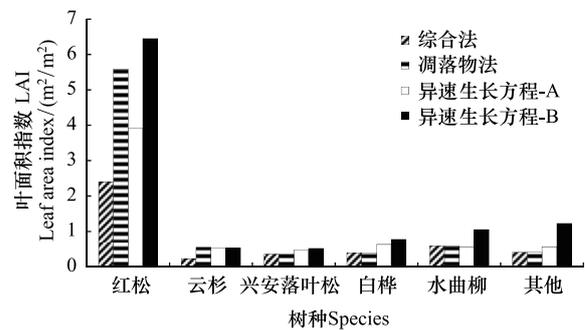


图 2 不同方法测定红松人工林主要树种 LAI_{max}

Fig.2 The annual maximum LAI for major species of Korean pine plantation derived from different methods

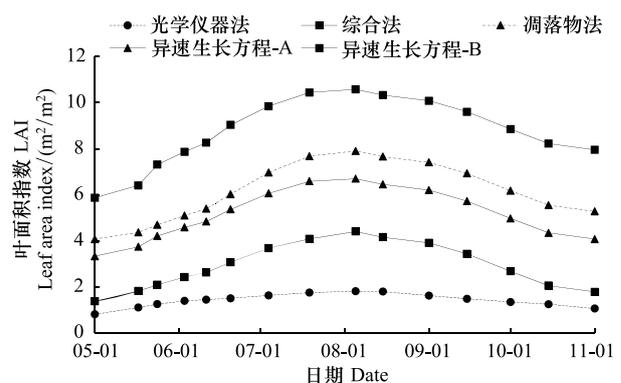


图 3 不同方法测定红松人工林 LAI 的季节动态

Fig.3 Seasonality of LAI of Korean pine plantation from different methods

迅速减小(图 3)。光学仪器法测定的红松人工林 LAI 明显低于其他测定方法,相对于综合法,光学仪器法最大时期低估 58.86%,整个调查期平均低估 48.90%;相对于凋落物法,分别低估 77.06%、75.50%;相对于异速生长方法-A,分别低估 72.93%、70.18%;相对于异速生长方法-B,分别低估 82.86%、81.69%。在整个调查期中,不同方法测定 LAI 值差异较大,排列顺序为异速生长方法-B>凋落物法>异速生长方法-A>综合法>光学仪器法,其峰值分别为 10.58、7.90、6.70、4.41 和 1.81;最小值分别为 5.87、4.07、3.33、1.38 和 0.81。

3 讨论

目前,因光学仪器法能方便、快捷地测定 LAI 而被广泛应用,随着高分辨率数码相机技术的发展,使得半球摄影法更具优势^[28-29],而这种技术因自身限制存在一定误差也得到广泛认同^[30-31]。误差主要源于木质部分和集聚效应,对于针叶林,集聚效应不仅

存在于冠层水平,也存在于针簇水平,本研究有效地量化了以上因素产生的误差。

对于落叶林型,以往研究多利用背景值的方法去除树干等木质部分产生的影响,而本研究中利用 Photoshop 软件有效地量化了红松人工林的 α , 5 月和 11 月的 α 值均为 13%,其他学者也得到类似结论,如 Deblonde 等^[11]测定挪威松 (*Pinus resinosa*) 林的 α 值为 8%—12%、斑克松 (*Pinus banksiana*) 林的 α 值为 10%—33%; Gower 等^[32]测定北方森林的 α 值为 5%—35%; 而刘志理等^[33]同样利用 Photoshop 软件方法测定了小兴安岭白桦次生林 11 月的 α 值为 57%,可见树种是影响 α 值的重要因子之一。本研究中红松人工林内冠层水平的集聚指数 Ω_E 由被广泛应用的 DHP-TRACWin 软件直接获得;通过实地采样测定红松人工林的簇内集聚指数 γ_E 为 1.73,与其他学者的研究结果相符,如 Chen 等^[25]测定的北方针叶林 γ_E 值为 1.4—1.8; Bréda^[9]测得针叶林的 γ_E 值为 1.2—2.0。

对于综合法,整个调查期内光学仪器法测定的 LAI 平均低估 48.90%,刘志理等^[34]利用相同方法测定小兴安岭阔叶红松林、谷地云冷杉林 LAI 的季节动态(7—11 月),得到光学仪器法比综合法分别平均低估 56.5%、22.8%;本研究中的低估程度高于谷地云冷杉林,主要源于谷地云冷杉林内常绿树种的簇内集聚效应弱于红松人工林。刘志理等^[33]利用综合法模拟了小兴安岭白桦次生林 LAI 的季节动态(5—11 月),效果较好($R^2=0.87$)。

以往研究中凋落物法多用于测定落叶林 LAI,而且无法提供生长季节 LAI 的动态变化^[3,13],然而结合一定周期内的凋落物及叶子存活周期来测定常绿针叶林最大时期的 LAI 也有报道,如 Sprintsin 等^[2]估测了半干旱地中海白松 (*Pinus halepensis*) 种植园的 LAI。本研究中利用凋落物法结合展叶调查直接测定红松人工林 LAI 的季节动态,其变化范围为 3.58—7.90,季节性变异最高为 54.69%;而 Chen^[15]指出针叶林 LAI 的季节变化在 25%—30%,低于本研究结果,主要源于本研究中红松人工林的林龄约为 60a,林分处于生长阶段。相对于凋落物法,整个调查期内光学仪器法测定的 LAI 平均低估 75.50%。

相对于异速生长方程法-A 和-B,整个调查期内

光学仪器法平均低估 70.18% 和 81.69%。Küßner 等^[35]曾报道相对于异速生长方程法,光学仪器法低估程度为 37%—82%; Gardingen 等^[36]报道相对于破坏性取样法,半球摄影法低估 50%,其他学者也得到类似结果^[37-38]。

本文中 3 种直接测定结果也存在一定差异,其中凋落物法测定红松人工林最大时期 LAI 为 7.90,整个调查期均值为 5.87,更接近于异速生长方程法-A 的结果(分别为 6.70、4.85)。选用不同的异速生长方程,其结果存在差异,主要源于:1) 选择建立异速生长方程标准木的林分立地指数不同;2) 树木叶子生物量存在明显的年际动态,即“丰歉年”,因此建立异速生长方程的时间不同将造成标准木的叶子生物量不同。利用凋落物法的长期定位研究,可弥补异速生长方程法的不足。

本文采用异速生长方程法、凋落物法、综合法和光学仪器法探讨了小兴安岭红松人工林 LAI 的季节动态,分析了不同方法之间的差异。在非破坏条件下,利用凋落物法结合展叶调查能直接、有效地测定常绿针叶林 LAI 的季节动态,这为将来进一步有效量化常绿针叶林 LAI 的季节及年际动态奠定了基础。

References:

- [1] Chen J M, Black T A. Defining leaf area index for non-flat leaves. *Plant, Cell and Environment*, 1992, 15(4): 421-429.
- [2] Sprintsin M, Cohen S, Maseyk K, Rotenberg E, Grünzweig J, Karnieli A, Berliner P, Yakir D. Long term and seasonal courses of leaf area index in a semi-arid forest plantation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2011, 151(5): 565-574.
- [3] Cutini A, Matteucci G, Mugnozza G S. Estimation of leaf area index with the Li-Cor LAI 2000 in deciduous forests. *Forest Ecology and Management*, 1998, 105(1/3): 55-65.
- [4] Behera S K, Srivastava P, Pathre U V, Tuli R. An indirect method of estimating leaf area index in *Jatropha curcas* L. using LAI-2000 Plant Canopy Analyzer. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2010, 150(2): 307-311.
- [5] Sea W B, Choler P, Beringer J, Weinmann R A, Hutley L B, Leuning R. Documenting improvement in leaf area index estimates from MODIS using hemispherical photos for Australian savannas. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2011, 151(11): 1453-1461.
- [6] Bequet R, Campioli M, Kint V, Vansteenkiste D, Muys B, Ceulemans R. Leaf area index development in temperate oak and

- beech forests is driven by stand characteristics and weather conditions. *Trees-Structure and Function*, 2011, 25 (5): 935-946.
- [7] Bequet R, Kint V, Campioli M, Vansteenkiste D, Muys B, Ceulemans R. Influence of stand, site and meteorological variables on the maximum leaf area index of beech, oak and Scots pine. *European Journal of Forest Research*, 2012, 131(2): 283-295.
- [8] Ryu Y, Sonnentag O, Nilson T, Vargas R, Kobayashi H, Wenk R, Baldocchi D D. How to quantify tree leaf area index in an open savanna ecosystem; a multi-instrument and multi-model approach. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2010, 150(1): 63-76.
- [9] Bréda N J J. Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. *Journal of Experimental Botany*, 2003, 54(392): 2403-2417.
- [10] Marshall J D, Waring R H. Comparison of methods of estimating leaf-area index in old-growth Douglas-fir. *Ecology*, 1986, 67(4): 975-979.
- [11] Deblonde G, Penner M, Royer A. Measuring leaf area index with the LI-COR LAI-2000 in pine stands. *Ecology*, 1994, 75 (5): 1507-1511.
- [12] Majasalmi T, Rautiainen M, Stenberg P, Lukeš P. An assessment of ground reference methods for estimating LAI of boreal forests. *Forest Ecology and Management*, 2013, 292: 10-18.
- [13] Neumann H H, Den Hartog G, Shaw R H. Leaf area measurements based on hemispheric photographs and leaf-litter collection in a deciduous forest during autumn leaf-fall. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1989, 45(3/4): 325-345.
- [14] Reich P B, Frelich L E, Voldseth R A, Bakken P, Adair C. Understorey diversity in southern boreal forests is regulated by productivity and its indirect impacts on resource availability and heterogeneity. *Journal of Ecology*, 2012, 100(2): 539-545.
- [15] Chen J M. Optically-based methods for measuring seasonal variation of leaf area index in boreal conifer stands. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1996, 80(2/4): 135-163.
- [16] Li X R, Liu Q J, Cai Z, Ma Z Q. Specific leaf area and leaf area index of conifer plantations in Qianyanzhou station of subtropical China. *Journal of Plant Ecology*, 2007, 31(1): 93-101.
- [17] Ma Z Q, Liu Q J, Zeng H Q, Li X R, Chen Y R, Lin Y M, Zhang S H, Yang F T, Wang H Q. Estimation of leaf area index of planted forests in subtropical China by photogrammetry. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(5): 1971-1980.
- [18] Jonckheere I, Fleck S, Nackaerts K, Muys B, Coppin P, Weiss M, Baret F. Review of methods for in situ leaf area index determination: Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2004, 121(1/2): 19-35.
- [19] Nasahara K N, Muraoka H, Nagai S, Mikami H. Vertical integration of leaf area index in a Japanese deciduous broad-leaved forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2008, 148 (6/7): 1136-1146.
- [20] Liu Z L, Jin G Z, Qi Y J. Estimate of leaf area index in an old-growth mixed broadleaved-Korean pine forest in northeastern china. *PLoS One*, 2012, 7(3): e32155.
- [21] Dai L M, Xu Z B, Zhang Y J, Chen H. Study on decomposition rate and fall of *Pinus koraiensis* needle. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(8): 1296-1300.
- [22] Luo T X. Patterns of Net Primary Productivity for Chinese Major Forest Types and Their Mathematical Models [D]. Beijing: Chinese Academy of Sciences, 1996.
- [23] 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.
- [24] Dong L H, Li F R, Jia W W, Liu F X, Wang H Z. Compatible biomass models for main tree species with measurement error in Heilongjiang Province of Northeast China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(10): 2653-2661.
- [25] Chen J M, Rich P M, Gower S T, Norman J M, Plummer S. Leaf area index of boreal forests: theory, techniques, and measurements. *Journal of Geophysical Research*, 1997, 102 (D24): 29429-29443.
- [26] Leblanc S G, Chen J M, Fernandes R, Deering D W, Conley A. Methodology comparison for canopy structure parameters extraction from digital hemispherical photography in boreal forests. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2005, 129(3/4): 187-207.
- [27] Macfarlane C, Hoffman M, Eamus D, Kerp N, Higginson S, McMurtrie R, Adams M. Estimation of leaf area index in eucalypt forest using digital photography. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2007, 143(3/4): 176-188.
- [28] Frazer G W, Fournier R A, Trofymow J A, Hall R J. A comparison of digital and film fisheye photography for analysis of forest canopy structure and gap light transmission. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2001, 109(4): 249-263.
- [29] Zhao C Y, Qi J G, Shen W H, Zou S B. Estimating the canopy coverage of *Picea crassifolia* forest using digital hemispherical photography in Qilian Mountains. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(8): 4196-4205.
- [30] Eriksson H, Eklundh L, Hall K, Lindroth A. Estimating LAI in deciduous forest stands. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2005, 129(1/2): 27-37.
- [31] Ryu Y, Nilson T, Kobayashi H, Sonnentag O, Law B E, Baldocchi D D. On the correct estimation of effective leaf area index: Does it reveal information on clumping effects?. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2010, 150(3): 463-472.
- [32] Gower S T, Kucharik C J, Norman J M. Direct and indirect estimation of leaf area index, f (APAR), and net primary production of terrestrial ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, 1999, 70(1): 29-51.
- [33] Liu Z L, Jin G Z. Estimation of leaf area index of secondary *Betula*

platyphylla forest in Xiaoxing'an Mountains. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(8): 2505-2513.

- [34] Liu Z L, Jin G Z. Estimation of leaf area index of three forest types in Xiaoxing'an Mountains of Northeast China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, 23(9): 2437-2444.
- [35] Küßner R, Mosandl R. Comparison of direct and indirect estimation of leaf area index in mature Norway spruce stands of eastern Germany. *Canadian Journal of Forest Research*, 2000, 30(3): 440-447.
- [36] Van Gardingen P R, Jackson G E, Hernandez-Daumas S, Russell G, Sharp L. Leaf area index estimates obtained for clumped canopies using hemispherical photography. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1999, 94(3/4): 243-257.
- [37] Sommer K J, Lang A R G. Comparative analysis of two indirect methods of measuring leaf area index as applied to minimal and spur pruned grape vines. *Australian Journal of Plant Physiology*, 1994, 21(2): 197-206.
- [38] Brenner A J, Cueto Romero M, Garcia Haro J, Gilabert M A, Incoll L D, Martinez Fernandez J, Porter E, Pugnaire F I, Younis M T. A comparison of direct and indirect methods for measuring leaf and surface areas of individual bushes. *Plant, Cell and Environment*, 1995, 18(11): 1332-1340.

参考文献:

- [16] 李轩然, 刘琪璟, 蔡哲, 马泽清. 千烟洲针叶林的比叶面积及叶面积指数. *植物生态学报*, 2007, 31(1): 93-101.
- [17] 马泽清, 刘琪璟, 曾慧卿, 李轩然, 陈永瑞, 林耀明, 张时煌, 杨风亭, 汪宏清. 南方人工林叶面积指数的摄影测量. *生态学报*, 2008, 28(5): 1971-1980.
- [21] 代力民, 徐振邦, 张扬建, 陈华. 红松针叶的凋落及其分解速率研究. *生态学报*, 2001, 21(8): 1296-1300.
- [22] 罗天祥. 中国主要森林类型生物生产力格局及其数学模型 [D]. 北京: 中国科学院, 1996.
- [24] 董利虎, 李凤日, 贾炜玮, 刘福香, 王鹤智. 含度量误差的黑龙江省主要树种生物量相容性模型. *应用生态学报*, 2011, 22(10): 2653-2661.
- [29] 赵传燕, 齐家国, 沈卫华, 邹松兵. 利用半球图像反演祁连山区青海云杉 (*Picea crassifolia*) 林盖度. *生态学报*, 2009, 29(8): 4196-4205.
- [33] 刘志理, 金光泽. 小兴安岭白桦次生林叶面积指数的估测. *生态学报*, 2013, 33(8): 2505-2513.
- [34] 刘志理, 金光泽. 小兴安岭三种林型叶面积指数的估测. *应用生态学报*, 2012, 23(9): 2437-2444.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.8 Apr., 2014 (Semimonthly)
CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Growth rates of marine planktonic ciliates; a review ZHANG Wuchang, LI Haibo, FENG Meiping, et al (1897)
- Research status and prospects on functions of urban forests in regulating the air particulate matter
..... WANG Xiaolei, WANG Cheng (1910)
- A review of snow-living Collembola ZHANG Bing, NI Zhen, CHANG Liang, et al (1922)

Autecology & Fundamentals

- Photosynthetic responses to changes in CO₂ concentration and soil moisture in leaves of *Securinega suffruticosa* from shell ridge
islands in the Yellow River Delta, China ZHANG Shuyong, XIA Jiangbao, ZHANG Guangcan, et al (1937)
- Quantities and spectral characteristics of DOM released from leaf and litterfall in *Castanopsis carlesii* forest and *Cunninghamia
lanceolata* plantation KANG Genli, YANG Yusheng, SI Youtao, et al (1946)
- Seasonal dynamics of leaf area index using different methods in the Korean pine plantation
..... WANG Baoqi, LIU Zhili, QI Yujiao, et al (1956)
- Influence of environmental changes on stoichiometric traits of nitrogen and phosphorus for *Larix gmelinii* trees
..... PING Chuan, WANG Chuankuan, et al (1965)
- Soil water in deep layers under different land use patterns on the Loess Tableland ... CHENG Liping, LIU Wenzhao, LI Zhi (1975)
- Water parameters of the branch of *Larrea tridentata* under different soil drought stress
..... ZHANG Xiangning, SUN Xiangyang, WANG Baoping, et al (1984)
- Effects of shading treatments on photosynthetic characteristics of *Juniperus sabina* Ant. seedlings
..... ZHAO Shun, HUANG Qiuxian, LI Yuling, et al (1994)
- Root distribution in typical sites of Lijiang ecotone and their relationship to soil properties
..... LI Qingshan, WANG Dongmei, XIN Zhongbao, et al (2003)
- The survival and above/below ground growth of *Haloxylon ammodendron* seedling
..... TIAN Yuan, TASHPOLAT · Tiyip, LI Yan, et al (2012)
- Effects of simulated acid rain on the physiological and ecological characteristics of *Rhododendron hybridum*
..... TAO Qiaojing, FU Tao, XIANG Xina, et al (2020)
- Karst cave bacterial calcium carbonate precipitation; the Shijiangjun Cave in Guizhou, China
..... JIANG Jianjian, LIU Ziqi, HE Qiufang, et al (2028)
- Migration of the 7th generation of brown planthopper in northeastern Guangxi Zhuang Autonomous Region, and analysis of source
areas QI Huihui, ZHANG Yunhui, JIANG Chunxian, et al (2039)

Population, Community and Ecosystem

- The dynamics and determinants of population size and spatial distribution of Common Cranes wintering in Poyang Lake
..... SHAN Jihong, MA Jianzhang, LI Yankuo, et al (2050)
- Effects of snow pack on wintertime soil nitrogen transformation in two subalpine forests of western Sichuan
..... YIN Rui, XU Zhengfeng, WU Fuzhong, et al (2061)
- Numerical classification, ordination and species diversity along elevation gradients of the forest community in Xiaqingling
..... CHEN Yun, WANG Hailiang, HAN Junwang, et al (2068)
- Phytoplankton community structures revealed by pigment signatures in Norwegian and Greenland Seas in summer 2012
..... WANG Xiaoying, ZHANG Fang, LI Juanying, et al (2076)
- Analysis of differences in insect communities at different altitudes in *Zanthoxylum bungeanum* gardens, Yunnan, China
..... GAO Xin, ZHANG Limin, ZHANG Xiaoming, et al (2085)
- The bacterial community changes after papermaking wastewater treatment with artificial wetland
..... GUO Jianguo, ZHAO Longhao, XU Dan, et al (2095)

- Ecological water requirement estimation of the rump lake in an extreme arid region of East Juyanhai
 ZHANG Hua, ZHANG Lan, ZHAO Chuanyan (2102)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- Spatial distribution patterns of species richness and hotspots of protected plants in Qinling Mountain
 ZHANG Yinbo, GUO Liulin, WANG Wei, et al (2109)
- Impacts of solar radiation on net ecosystem carbon exchange in a mixed plantation in the Xiaolangdi Area
 LIU Jia, TONG Xiaojuan, ZHANG Jinsong, et al (2118)
- Carbon density and distribution of *Pinus tabulaeformis* plantation ecosystem in Hilly Loess Plateau
 YANG Yujiao, CHEN Yunming, CAO Yang (2128)
- Dynamics of carbon storage at different aged *Koelreuteria paniclata* tree in Xiangtan Mn mining wasteland
 TIAN Dalun, Li Xionghua, LUO Zhaohui, et al (2137)
- Resource and Industrial Ecology**
- Contamination status of Pb and Cd and health risk assessment on vegetables in a mining area in southern Hunan
 WU Yanming, LV Gaoming, ZHOU Hang, on storage at different age (2146)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- Life cycle assessment and environmental & economic benefits research of important building external insulation materials in Beijing ...
 ZHU Lianbin, KONG Xiangrong, WU Xian (2155)
- Effects of urban imperious surface on the habitat and ecophysiology characteristics of *Ginkgo biloba*
 SONG Yingshi, LI Feng, WANG Xiaoke, et al (2164)

《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 杨永兴 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 8 期 (2014 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 34 No. 8 (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

主 编 王如松

主 管 中国科学技术协会

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

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂

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

订 购 全国各地邮局

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

广告经营 京海工商广字第 8013 号
许 可 证

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

Editor-in-chief WANG Rusong

Supervised by China Association for Science and Technology

Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

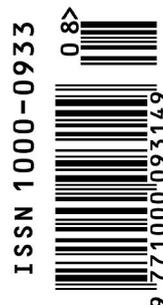
Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel: (010)64034563
E-mail: journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China

Foreign China International Book Trading
Corporation
Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China



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