

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

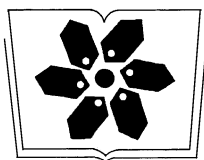
Acta Ecologica Sinica



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/stxb201201120065

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.

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.

小兴安岭白桦次生林叶面积指数的估测

刘志理, 金光泽*

(东北林业大学生态研究中心, 哈尔滨 150040)

摘要: 叶面积指数(LAI)是量化冠层结构最常用的参数之一, 准确估测 LAI 对森林生态系统结构特性的研究具有重要意义。利用半球摄影图像法和 LAI-2000 法及半球摄影图像法结合凋落物法估测了小兴安岭白桦次生林 LAI 及其动态变化。首先对该林型叶凋落末期(11 月初)的半球摄影图像进行合理校正(包括木质部分所占比例 α , 冠层水平集聚指数 Ω_e), 校正值作为该时期常绿树种的真实 LAI (LAI_t), 结合各调查期的凋落物数据, 得到落叶季节(7—11 月)的 LAI_t , 并以该值为参考值, 对比分析了两种光学仪器法估测值。结果表明: 两种光学仪器法在 LAI 最大时期低估(分别低估 2.83%、6.20%), 其他时期显著高估(平均高估 118.13%、89.34%), 但两种光学仪器法与探讨方法估测值存在很好的相关性: $LAI_t = -1.1393 + 1.0934 \cdot LAI_{HP}$, $R^2 = 0.80$; $LAI_t = -0.1712 + 0.6259 \cdot LAI_{LAI-2000}$, $R^2 = 0.83$ 。研究结果可为将来方便、快捷、准确的估测白桦次生林的 LAI 提供参考。

关键词: 小兴安岭; 白桦林; 叶面积指数; 半球摄影图像法; LAI-2000 植物冠层分析仪; 凋落物法

Estimation of leaf area index of secondary *Betula platyphylla* forest in Xiaoxing'an Mountains

LIU Zhili, JIN Guangze*

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

Abstract: Leaf area index (LAI), defined as the total one-sided leaf area per unit ground surface area ($m^2 m^{-2}$), is among the most frequently used parameters for analysis of plant canopy structure. Most ecosystem process models that simulate carbon and water cycles at a stand or regional scale require LAI as an input variable, thus accurate measurement of LAI is essential for conversion of leaf-level processes to the canopy level. The main methods of LAI measurement generally are classifiable into two groups: direct measures, which mainly include destructive sampling and the litterfall method; and indirect measures, which mainly include hemispherical photography and the LAI-2000 plant canopy analyzer. However, using a direct or indirect method alone may not accurately estimate LAI for mixed needle and broadleaf forest or broadleaf forest with a high proportion of evergreen species. Secondary *Betula platyphylla* is among the most common broadleaf forest types that regenerate naturally after clear cutting of broadleaved-Korean pine forest in the Xiaoxing'an Mountains in north-east China. In the present study, we estimated LAI and its seasonal dynamics in secondary *B. platyphylla* forest in the Xiaoxing'an Mountains using optical methods (hemispherical photography and the LAI-2000 Plant Canopy Analyzer) and a combinational method (hemispherical photography combined with the litterfall method). In the combinational method, hemispherical photographs obtained in early November were calibrated with consideration of the woody-to-total ratio (α) as well as the clumping index (for clumping beyond the shoots, Ω_e). The calibrated value was regarded as the true LAI

基金项目: 国家科技支撑计划(2011BAD37B01); 林业公益性行业科研专项经费项目(200804001); 长江学者和创新团队发展计划(IRT1054)资助

收稿日期: 2012-01-12; **修订日期:** 2012-07-17

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

(LAI_l) of coniferous species; the LAI_l of the study stand and its seasonal dynamics (from July to November) were obtained by supplementation of the LAI_l of coniferous species by incorporation of litterfall data for each observation. Using this result as a reference value, we compared the results obtained with the two optical methods. The LAI for the litter of *B. platyphylla* and *Larix gmelini* accounted for 87.65% of the total litter, and leaves of *B. platyphylla* began to fall distinctly earlier than those of other species, and the LAI for the litter of *B. platyphylla* accounted for 98.24% of all species during July and August. Leaf fall for most species excluding *B. platyphylla* peaked in mid-September. In contrast to the proposed method, hemispherical photography and $LAI-2000$ both underestimated LAI by 2.83% and 6.20%, respectively, during the maximum LAI period and overestimated LAI significantly on average by 118.13% and 89.34%, respectively, on other dates. However, hemispherical photography and $LAI-2000$ yielded LAI values that were significantly correlated with the results obtained with the combinational method; the regression curves were $LAI_l = -1.1393 + 1.0934 \cdot LAI_{HP}$ ($R^2 = 0.80$) and $LAI_l = -0.1712 + 0.6259 \cdot LAI_{LAI-2000}$ ($R^2 = 0.83$), respectively. The corrected hemispherical photography data were used to simulate the seasonal dynamics of LAI from May to November, which was indicated to be accurate ($R^2 = 0.87$). The LAI estimate obtained with the two optical methods did not differ significantly from July to September, but the estimate with the $LAI-2000$ method was significantly lower than that obtained with hemispherical photography after October. However, LAI estimated with the two optical methods was significantly correlated ($R^2 = 0.86$) for secondary *B. platyphylla* forest. This study lays a foundation for convenient, rapid and accurate estimation of LAI for secondary *B. platyphylla* forest in subsequent studies.

Key Words: Xiaoxing'an Mountains; *Betula platyphylla* forest; leaf area index; hemispherical photography; $LAI-2000$ plant canopy analyzer; litterfall method

森林冠层的结构特性对研究森林生态系统与环境的相互作用具有重要意义,而叶面积指数(LAI)是描述森林冠层结构最重要的参数之一,被定义为单位水平地面面积上单面叶面积的总和^[1]。 LAI 是模拟森林中碳、水循环的重要输入参数^[2],与研究森林结构及生物多样性也密切相关,准确的估测 LAI 有助于光合作用,蒸腾作用,截留降雨及 CO_2 的转换等许多生态进程的研究^[3-6]。同时 LAI 的测定能够预测森林的未来生长量,指示林冠结构对于竞争,疾病和气候变化的响应^[7]。

LAI 的传统地面测定方法包括直接法和间接法^[8-11]。直接法主要有收获法、异速生长方程法、凋落物法^[12],前两种方法具有破坏性、费时费力,不宜估测具有高大、复杂林冠森林的 LAI 及其动态变化^[13-14],尤其在禁止砍伐的自然保护区样地内无法实施该方法。凋落物法,估测准确、没有破坏性,但估测落叶林型的 LAI 效果最佳^[4, 14-15],且实验进程中也需耗费大量人力物力。基于光学仪器估测 LAI 的间接法,不仅避免了传统收获法造成大规模破坏森林的缺点^[16],方便快捷、易于操作,且能提供 LAI 的季节动态数据而逐渐发展并被广泛应用。大多数光学仪器通过测定一定天顶角范围内林隙分数的数据反演得到 LAI ,在有效估测林隙分数的设备中,半球摄影图像法(HP)和 $LAI-2000$ 植物冠层分析仪(PCA)因能同时测定不同天顶角范围内林冠的林隙分数而最受关注。随着高分辨率数码相机的发展,获取的图像能够快速高效的处理,使得半球摄影图像法更具优势^[17-18]。但光学仪器法不能有效的去除树干树枝等木质部分的影响,获得的 LAI 被认为是有效叶面积指数(LAI_e)^[19],因此这些间接测定方法准确性的合理评价具有重要参考价值。

许多学者将这两种间接测量方法进行了对比分析,如:Chen 等^[20]利用这两种光学仪器对北方森林 LAI 的研究中得到二者估测的平均 LAI 相关性很好($r^2 = 0.81$);Coops 等^[7]对天然桉树林(*Eucalyptus*) LAI 的测定中得到类似结论($r^2 = 0.65$)。Chason 等^[21]利用 $LAI-2000$ 法和凋落物法对阿巴拉契亚地区橡木(*Quercus robur*)-山核桃(*Carya cathayensis*)混交林 LAI 的研究中得到两种方法具有很好的相关性($L_{litter} = 1.86 \times L_{LAI-2000}$, $r^2 = 0.97$),且 $LAI-2000$ 法存在低估现象;Dufrêne and Bréda^[3]和 Cutini 等^[4]也得到类似结论。半球摄影图像法同样存在低估 LAI 的现象^[14, 20, 22]。Mussche 等^[23]利用半球摄影图像法、 $LAI-2000$ 法及凋落物法

对橡木-欧洲山毛榉(*Fagus sylvatica*)混交林 LAI 的研究中得出两种光学仪器法均出现低估现象,且均与凋落物法存在很好相关性($r^2 \geq 0.93$);而 Thimonier 等^[24]同样利用这 3 种方法对不同类型成熟林 LAI 进行了估测,但两种光学仪器法与凋落物法间不存在明显相关性。

白桦(*Betula platyphylla*)次生林是小兴安岭地区阔叶红松林皆伐后天然更新形成的主要阔叶林型。本研究在白桦次生林样地内,常绿树种占较大比例,若仅利用凋落物法估测该林型的 LAI,在叶子凋落末期(11 月初)由于常绿树种的影响会出现明显低估现象。因此,本研究对凋落末期的半球摄影图像进行合理校正(包括木质部分所占比例 α ,冠层水平集聚指数 Ω_E),校正后的 LAI 值作为常绿树种的真实叶面积指数(LAI_t),结合各调查时期的凋落物,得到该林型 LAI_t 的季节动态(尤其是落叶季节),这种综合方法在本研究中称为探讨方法。以该方法获得的值为参考值,对比分析了两种光学仪器法(半球摄影图像法和 LAI-2000 法)估测值,并建立回归方程,为今后方便、快捷、准确的估测白桦次生林的 LAI 提供参考。

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,属小兴安岭南部达里带岭支脉的东坡。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 ℃。多年平均降水量 676 mm,且多集中在 7 月份。积雪期 130—150 d,无霜期 100—120 d。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置

在白桦次生林区域内设置 60 m × 60 m 的样地,其基本概况见表 1。随机布设 20 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 1.0 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 小兴安岭白桦次生林树种组成

Table 1 Composition of tree species for the secondary *Betula platyphylla* forest in Xiaoxing'an Mountains

树种 Tree species	密度 Density/hm ²	胸高断面积* Basal area/(m ² /hm ²)	平均胸径 Average DBH/cm
白桦 <i>Betula platyphylla</i>	525	11.16	15.80
兴安落叶松 <i>Larix gmelini</i>	214	5.60	15.60
红皮云杉 <i>Picea koraiensis</i>	150	1.86	11.10
春榆 <i>Ulmus japonica</i>	79	0.92	9.45
稠李 <i>Prunus padus</i>	750	0.92	3.32
裂叶榆 <i>Ulmus laciniata</i>	82	0.68	9.50
五角槭 <i>Acer mono</i>	196	0.64	5.72
毛赤杨 <i>Alnus sibirica</i>	118	0.29	3.66
其他 Others	739	0.94	2.32
总计 Total	2854	23.00	7.22

* 起测胸高直径为 1 cm

1.2.2 实验原理

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,因此光学仪器估测值被认为是 LAI_e^[19]。为得到 LAI_t 需要对 LAI_e 进行合理校正,根据前人的理论和验证, LAI_t 计算如下^[24]:

$$LAI = \frac{(1 - \alpha) LAI_e}{\Omega_E} \quad (1)$$

式中, LAI 为真实叶面积指数, LAI_e 为有效叶面积指数, α 为木质部分面积占总面积的比率, Ω_e 为集聚指数 (表示树叶之间的集聚效应, 基于叶元素空间分布的参数), 当林冠内的叶元素随机分布时 $\Omega_e = 1$; 随着叶元素的集聚 Ω_e 值随之减小, 大部分林冠的叶元素并非随机分布, 而是存在一定的集聚效应, 因此 $\Omega_e < 1$ [20]; 当林冠内的叶片均匀分布时, $\Omega_e > 1$ [25]。利用公式(1)可计算出该林型 11 月 1 日常绿树种的 LAI_l (通过校正用半球摄影图像法得到 11 月 1 日的 LAI_e), 结合 11 月 1 日的凋落物数据, 得到 10 月 15 日的 LAI_l , 以此类推至 7 月 1 日, 得到 7 月份至 11 月份各调查时期的 LAI_l 。

1.3 数据收集

1.3.1 光学仪器法

半球摄影图像法采用 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。数据采集时间为 2011 年 5 月 15 日, 6 月 1 日, 6 月 15 日, 7 月 1 日, 8 月 1 日, 9 月 1 日, 9 月 15 日, 10 月 1 日, 10 月 15 日及 11 月 1 日。采集数据时避免直射光, 选择阴天或日出日落前后, 三脚架固定在凋落框周围的 3 根 PVC 管处, 并设定离地面 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。

LAI-2000 PCA (Licor Inc., Lincoln, NE, USA) 采集数据与 Winscanopy 2006 冠层分析仪采集时间 (7—11 月份)、地点相同, 确保感应探头离地面 1.3 m 且保持水平, 使用 45° 顶盖, 在采集样地内的数据前, 首先利用 LAI-2000 在样地不远的空旷地带测定 5 组数据, 为确保测定值标准化提供参考数据。

1.3.2 凋落物法

落叶期定期收集凋落物 (7 月 1 日开始, 与光学仪器数据采集同步; 7 月 1 日几乎不存在凋落物, 因此该时期凋落物产生的 LAI 视为 0), 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 下烘干至少 48 h, 测其干重, 结合各树种的比叶面积 (SLA), 得到各树种在各样点各时期因凋落产生的 LAI。

7 月中旬用高枝剪在林冠中随机采集带叶片的小枝, 带回室内。阔叶树种选取健康成熟、平整、新鲜的样叶 30 片, 进行扫描, 利用 Photoshop CS 8.01 (Adobe Systems Inc, USA) 软件得到叶子所占像素和像素大小, 两者乘积即为该样叶的单面面积。针叶树种的半表面积采用了体积替换法 [19], 即将针叶及其枝完全浸入装水的容器, 容器要足够大, 避免样本碰壁和触底 (为减小水的表面张力, 水中放入适量洗涤剂), 电子天平增加的质量即为针叶及其枝的体积 V_1 。去除枝上的针叶, 测量针叶的平均长度及其总针数, 然后用同样的方法测量枝的体积 V_2 , 则针叶的体积 $V = V_1 - V_2$ 。

经观测, 红皮云杉 (*Picea koraiensis*) 针叶的形状均是渐尖的, 忽略顶部的表面积, 红皮云杉的形状近似为棱柱。因此, 红皮云杉的横截面为正方形, 其半表面积计算公式如下:

$$\text{红皮云杉} \quad A = 2.00 \sqrt{nv}l \quad (2)$$

式中, A 为针叶的半表面积 (cm^2), n 为针叶的针数, v 为针叶的体积 (cm^3), l 为针叶的平均长度 (cm)。

处理完的针阔叶样本, 在 65 °C 下烘干 48 h, 测其干重, 比叶面积 (SLA) 计算如下:

$$S_i = \frac{\sum A_i}{\sum W_i} \quad (3)$$

式中, S_i 为树种 i 比叶面积, A_i 为样叶 i 的半表面积, W_i 为样叶 i 的干重, 即可算出各树种的 SLA。

1.4 数据分析

估测叶子凋落末期常绿树种的 LAI 时, 利用 Photoshop 软件消除该时期半球摄影图像中树干等木质部分的影响 (用 α 值表示), 采用仿制像章工具, 把树干部分用其附近的非树干部分代替, 避免去掉整个大树干部分的同时也去掉在树干后面树叶部分的缺点。半球摄影图像采用广泛应用的 (DHP) 软件处理 [26-27], 处理时提取 0—60° 天顶角范围内的 LAI, 以下文中用半球摄影图像法叶面积指数 (LAI_{HP}) 表示。冠层水平上的集

聚(用 Ω_E 值表示)采用 DHP-TRACWin 软件^[27-28] 计算得到的 Ω_E 值校正,校正时选用天顶角 40—45° 测量 Ω_E 。LAI-2000 数据由 C2000 LI-COR 软件分析,处理时提取 1—4 环范围内的 LAI,以下文中用 LAI-2000 法叶面积指数($LAI_{LAI-2000}$)表示。3 种方法估测的平均值比较了其 95% 置信区间,若均值的置信区间没有重叠则表明差异显著,反之不显著^[23]。

2 结果与分析

2.1 木质部分所占比例及集聚指数

由表 2 可知,11 月 1 日的 LAI 中木质部分产生的误差平均高达 57%,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 43%;各样点冠层水平上的集聚效应差异较小(最大值与最小值相差 0.07),平均值为 0.92,表明白桦次生林内冠层水平上不存在明显集聚效应。

表 2 木质部分所占比例及集聚指数

Table 2 The woody-to-total area ratio and clumping index ($n=20$)

参数 Parameters	最大值 Maximum	最小值 Minimum	平均值±标准差 Mean ± SD
α	0.91	0.37	0.57 ± 0.17
Ω_E	0.95	0.88	0.92 ± 0.02

2.2 凋落物

白桦次生林在 7 月份已经出现大量凋落(凋落叶的 LAI 占全部凋落叶的 41.43%),8 月份虽然有所下降,但仍明显高于其他时期(7、8 月份凋落叶的 LAI 占全部凋落叶的 67.73%);7、8 月份的凋落叶中,白桦树种的凋落叶占最大比例(98.24%)(图 1),主要源于白桦落叶早于其他树种,且该林型中白桦属于优势树种(相对优势度为 48.52%)。9 月中旬至 10 月初,凋落叶出现第 2 个小高峰(占全部凋落叶 LAI 的 22.31%),此时其他落叶树种(除白桦)的落叶占较大比例(53.57%);兴安落叶松(*Larix gmelini*)是该林型中仅次于白桦的主要树种(相对优势度为 24.33%),在 9 月中旬至 10 月初出现落叶高峰(产生的 LAI 占有所有树种的 10.71%);10 月份,凋落现象基本结束。总体来看,该林型树种较单一,整个凋落期内白桦和兴安落叶松的凋落叶占绝对优势(占有所有树种凋落叶 LAI 的 87.65%)。

2.3 光学仪器法

半球摄影图像法估测该林型 5—11 月份的 LAI 呈单峰形(表 3),5 月中旬至 6 月初 LAI 增势明显(增幅为 57.38%),7 月初达到峰值(3.01),此后逐渐变小;LAI-2000 法估测值呈现与半球摄影图像法同样趋势(7—11 月份),且估测值均略低于半球摄影图像法,而估测均值的 SE 明显高于半球摄影图像法,可能主要源于 LAI-2000 对于天气状况及空间异质性更加敏感,使各样点 LAI 的估测值差异较大。

2.4 方法比较

两种光学仪器估测值在 7—9 月不存在显著差异,而 10 月以后, LAI-2000 法估测值显著低于半球摄影图像法(图 2)。半球摄影图像法估测值与探讨方法在最大 LAI 时期(7 月)不存在显著差异(低估 2.83%),其他时期显著高于探讨方法(平均高估 118.13%);同样, LAI-2000 法在最大 LAI 时期略低于探讨方法(低估 6.20%),其他时期均显著高于探讨方法(平均高估 89.34%);高估可能主要源于木质部分的影响。

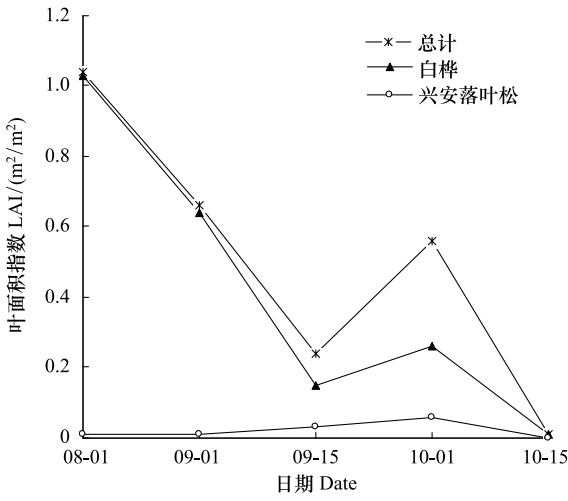


图 1 主要树种各调查时期凋落物产生的 LAI

Fig. 1 LAI estimated from litter of main species at the study site during the investigation period

表 3 3 种方法估测的白桦次生林 LAI

Table 3 LAI values obtained for the stand using the Hemispherical Photography, LAI-2000 PCA and our method (By combining Hemispherical Photography with litterfall method)

日序 Day of year	半球摄影图像法 叶面积指数 LAI _{HP}	LAI-2000 法 叶面积指数 LAI _{LAI-2000}	真实 叶面积指数 LAI _l	日序 Day of year	半球摄影图像法 叶面积指数 LAI _{HP}	LAI-2000 法 叶面积指数 LAI _{LAI-2000}	真实 叶面积指数 LAI _l
5-15/136	1.83(0.06)	—	—	6-1/153	2.88(0.06)	—	—
6-15/167	2.92(0.05)	—	—	7-1/183	3.01(0.05)	2.91(0.26)	3.10(0.24)
8-5/218	2.89(0.07)	2.84(0.22)	2.06(0.15)	9-1/245	2.49(0.06)	2.48(0.22)	1.40(0.12)
9-15/259	2.24(0.04)	2.22(0.21)	1.16(0.09)	10-1/275	1.76(0.04)	1.34(0.17)	0.59(0.08)
10-15/289	1.64(0.05)	1.27(0.16)	0.58(0.08)	11-1/305	1.26(0.03)	1.06(0.15)	0.58(0.08)

插入部分代表均值的标准误差

2.5 回归方程

假设探讨方法估测的 LAI 是真实值, 依此为参考来检验两种光学仪器的测定结果。根据两种方法的估测结果建立回归方程: $LAI_l = -1.1393 + 1.0934 \cdot LAI_{HP}$ ($R^2 = 0.80$); $LAI_l = -0.1712 + 0.6259 \cdot LAI_{LAI-2000}$, ($R^2 = 0.83$)。为将来通过光学仪器测定值而得到较准确地真实值提供参考。

本研究中只利用半球摄影图像法估测了生长季节(5—6 月)的 LAI, 利用相应的回归方程校正半球摄影图像法的估测值, 利用校正后的数据来模拟 LAI 的季节变化(图 3)。结果表明, 拟合效果很好($R^2 = 0.87$)。

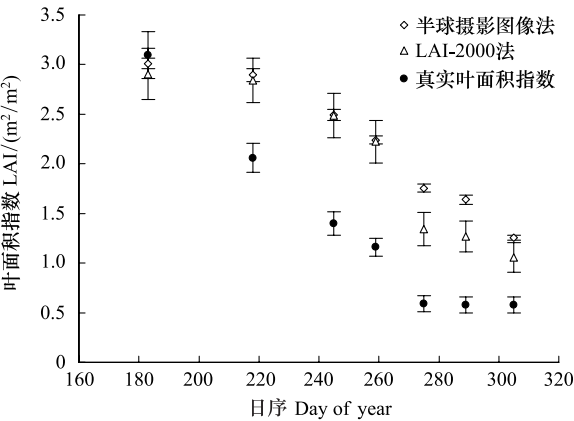


图 2 落叶季节 3 种方法估测的 LAI 平均值的 95% 置信区间比较
Fig.2 Comparing the mean LAI of the stand during the leaf fall period (from May to November) , estimated with the three different methods at 95% confidence intervals

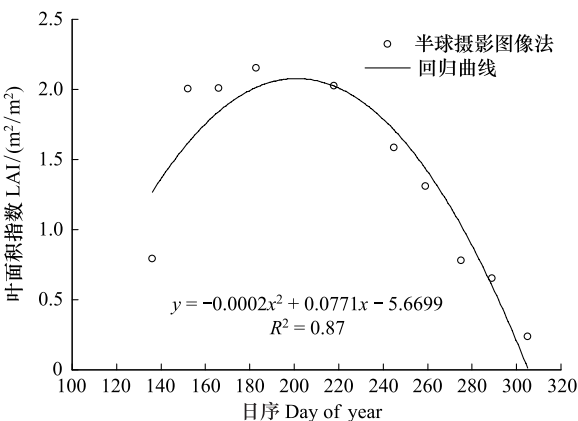


图 3 LAI 季节动态的模拟
Fig.3 Model of the evolution of the LAI during the observation season

3 讨论

3.1 探讨方法对白桦次生林 LAI 估测的可行性

在非破坏条件下, 凋落物法是得到 LAI_l 的最佳方法, 在落叶林中效果最佳; 而本研究样地内常绿树种所占比例较大(总相对优势度为 8.98%), 若单独使用凋落物法很可能出现低估 LAI 的现象。本研究中凋落末期(11 月初)凋落叶产生的 LAI 为 0, 但此时冠层中还存在一定数量的常绿针叶, 其产生的 LAI 可以利用公式(1)来计算, 得到 LAI 的均值为 0.58 (SD = 0.06), 这种通过对光学仪器估测的 LAI_o 进行合理校正后作为 LAI_l 的方法已经得到验证^[20, 24]; 若单独使用凋落物法会忽略这部分, 从而得到的最大 LAI 会低估 18.71%。因此, 本文尝试了对 11 月初落叶树种完全落叶后只剩常绿针叶的半球摄影图像进行木质部分、集聚指数的校正, 校正后的 LAI 结合凋落物法, 得到了小兴安岭地区白桦次生林不同时期的 LAI_l。

在校正木质部分产生影响的过程中, 部分学者采用光学仪器测得展叶前或落叶后的 LAI 作为背景值的

方法,但这只适合于落叶林^[27, 29],而本研究运用 Photoshop 的仿制像章工具去除木质部分,效果较好,克服了直接测量方法费时费力,树木受损的缺陷,又避免了叶茂盛期与叶凋落末期因 WAI 不同产生误差的缺点,而且在原始保护林区禁止砍伐树木的情况下,这种方法更有效。目前,林冠水平上 Ω_E 的测量一直是光学仪器测量 LAI 的一大难点,测量集聚指数方法如 CI_{LX} 、 CI_W 、 CI_{CC} 、 CI_{CLX} 及 CI_{PCS} 法等^[30]。本文冠层水平的集聚指数 Ω_E 由被多次应用的 DHP-TRACWin 软件^[27-28, 31]直接获得,在今后的研究中可以将这几种测定方法进行对比分析,获得最适合估测该研究区域冠层水平集聚的方法。

3.2 半球摄影图像法与 LAI-2000 法的比较

在本地区的白桦次生林,两种光学仪器法存在很强的相关性(图 4)。许多学者在不同林型中也得到类似研究结果^[7, 20, 32]。相对于 LAI-2000,一些研究表明半球摄影图像法出现低估 LAI 的趋势^[7, 23, 33];而本研究中,半球摄影图像法在各时期的估测值均大于 LAI-2000 法,当 LAI 较大时($LAI > 2.2$)估测值均略大于 LAI-2000 法(差异范围 0.29%—3.58%),当 LAI 较小时($LAI < 2.0$)估测值显著大于 LAI-2000 法(差异范围 19.21%—33.60%)。Soudani 等^[34]在橡木-山毛榉混交林分内也发现,当 LAI-2000 估测值小于 3.5 时,半球摄影图像法高于 LAI-2000 估测值。

两种光学仪器法在估测 LAI 过程中存在相同的技术问题。天气条件对两种方法的估测具有很大影响,理论上应该选在云层分布均匀的阴天天气下监测^[4, 23]。若是在云层不断运动或是晴天条件下进行监测,会造成低估现象。此外,天气条件产生的影响会因林冠结构的不同而存在差异,在集聚效应显著、分布不均匀的林冠下,因辐射渗透不均会加大低估程度。相对于半球图像摄影法, LAI-2000 对天气条件更敏感^[23, 35]。在半球摄影图像法采集数据过程中,光圈和快门速度的合理使用也会提高估测结果的精度^[36-37]。Chen 等^[38]研究表明在合理设置光圈和快门速度条件下,半球摄影图像法能更准确的估测 LAI(相对于 LAI-2000 法)。而本研究中设定自动曝光状态,为得到更精确的估测值,在以后的研究中需要考虑光圈和快门速度。

3.3 光学仪器法和探讨方法的比较

通过光学仪器法和探讨方法的同步测量,利用有效值和真实值模拟的回归方程将光学仪器测定的有效值转化为真实值具有一定的应用价值。探讨方法估测白桦次生林的 LAI 变化范围为 0.58—3.10,两种光学仪器法只在最大 LAI 时期(7 月初)均略低于探讨方法,其他 LAI 较小时均显著高于探讨方法(图 2)。Mussche 等^[23]应用 LAI-2000 法及凋落物法对橡木-山毛榉混交林和欧洲白蜡林(*Fraxinus excelsior*) LAI 的研究中均发现在 LAI 较大时,光学仪器法低估,而较小时则高估。Fassnacht 等^[39]及 Chason 等^[21]也得到类似结论。前人的许多研究表明这种高估主要源于光学仪器法计算 LAI 时没有考虑木质部分(WAI)的影响,然而对木质部分进行校正后,在最大 LAI 时期会增大光学仪器法的低估程度^[23]。叶子凋落末期和叶子茂盛期,由于树叶的影响,木质部分产生的 LAI 显然存在差异,仅利用光学仪器法估测的叶凋落末期的 LAI 作为背景值来消除各时期木质部分的影响会造成 LAI 的低估;而研究样地内主要树种的林冠较稀疏,可能也是造成光学仪器法高估的原因之一。

总体而言,每种方法都存在优缺点。探讨方法估测 LAI 相对准确,但凋落物的收集也需要耗费很大人力物力;半球摄影图像法的劳动强度较小,图像数据可以永久保存,但因忽略了木质部分及集聚效应的影响而降低估测精度,而且还存在曝光、图像质量、天气状况等一些不确定因素,因此在运用此方法前要考虑这

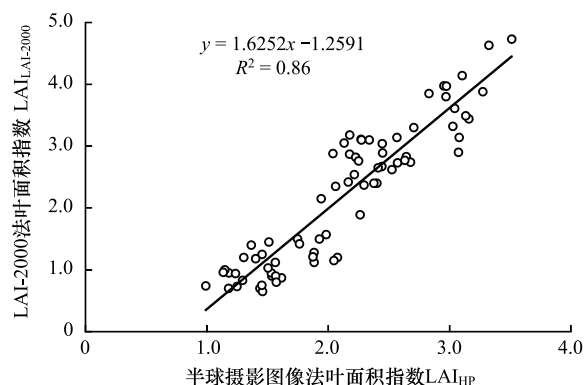


图 4 两种光学仪器法估测 LAI

Fig. 4 LAI values obtained from the Hemispherical Photography and LAI-2000

些影响因素,还要对林冠进行必要的调查^[23];相对而言,LAI-2000法在使用45°顶盖和严格天气状态下能得到较好的估测值,若利用回归方程来估测真实LAI,LAI-2000法最方便快捷,不需要额外的数据采集及其分析,能够即刻得到估测值,但不能提供详细的原始观测数据,无法再次分析。

4 结论

在非破坏条件下,本研究结合半球摄影图像法及凋落物法有效地估测了小兴安岭白桦次生林的LAI及其动态变化,并与半球摄影图像法和LAI-2000两种光学仪器法的估测值进行了对比分析。相对于探讨方法,两种光学仪器只在LAI最大时期出现低估现象,其他时期均出现高估现象,且两种光学仪器法估测值存在很好相关性($R^2 = 0.86$)。

References:

- [1] Watson D J. Comparative physiological studies on the growth of field crops: I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. *Annales Botanici Fennici*, 1947, 11(1): 41-76.
- [2] Asner G P, Scurlock J M O, Hicke J A. Global synthesis of leaf area index observations: implications for ecological and remote sensing studies. *Global Ecology and Biogeography*, 2003, 12(3): 191-205.
- [3] Dufréne E, Bréda N. Estimation of deciduous forest leaf area index using direct and indirect methods. *Oecologia*, 1995, 104(2): 156-162.
- [4] 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.
- [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] 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.
- [7] Coops N C, Smith M L, Jacobsen K L, Martin M, Ollinger S. Estimation of plant and leaf area index using three techniques in a mature native eucalypt canopy. *Austral Ecology*, 2004, 29(3): 332-341.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] Sonnentag O, Talbot J, Chen J M, Roulet N T. Using direct and indirect measurements of leaf area index to characterize the shrub canopy in an ombrotrophic peatland. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2007, 144(3/4): 200-212.
- [11] Pinto-Júnior O B, Sanches L, de Almeida Lobo F, Brandão A A, de Souza Nogueira J. Leaf area index of a tropical semi-deciduous forest of the southern Amazon Basin. *International Journal of Biometeorology*, 2011, 55(2): 109-118.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] Wasseige C, Bastin D, Defourny P. Seasonal variation of tropical forest LAI based on field measurements in Central African Republic. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2003, 119(3/4): 181-194.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 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.

- [21] Chason J W, Baldocchi D D, Huston M A. A comparison of direct and indirect methods for estimating forest canopy leaf area. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1991, 57(1/3): 107-128.
- [22] 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. doi:10.1371/journal.pone.0032155.
- [23] Mussche S, Samson R, Nachtergale L, De Schrijver A, Lemeur R, Lust N. A comparison of optical and direct methods for monitoring the seasonal dynamics of leaf area index in deciduous forests. *Silva Fennica*, 2001, 35(4): 373-384.
- [24] Thimonier A, Sedivy I, Schleppi P. Estimating leaf area index in different types of mature forest stands in Switzerland: a comparison of methods. *European Journal of Forest Research*, 2010, 129(4): 543-562.
- [25] Gonsamo A, Pellikka P. The computation of foliage clumping index using hemispherical photography. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2009, 149(10): 1781-1787.
- [26] Kaldcska M, Calvo-Alvarado J C, Sánchez-Azofeifa G. Calibration and assessment of seasonal changes in leaf area index of a tropical dry forest in different stages of succession. *Tree Physiology*, 2005, 25(6): 733-744.
- [27] Chen J M, Govind A, Sonntag O, Zhang Y Q, Barr A, Amiro B. Leaf area index measurements at Fluxnet-Canada forest sites. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2006, 140(1/4): 257-268.
- [28] 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.
- [29] Zou J, Yan G J, Zhu L, Zhang W M. Woody-to-total area ratio determination with a multispectral canopy imager. *Tree Physiology*, 2009, 29(8): 1069-1080.
- [30] Gonsamo A, Pellikka P. The computation of foliage clumping index using hemispherical Photography. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2009, 149(10): 1781-1787.
- [31] 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.
- [32] Martens S N, Ustin S L, Rousseau R A. Estimation of tree canopy leaf area index by gap fraction analysis. *Forest Ecology and Management*, 1993, 61(1/2): 91-108.
- [33] Ferment A, Picard N, Gourlet-Fleury S, Baraloto C. A comparison of five indirect methods for characterizing the light environment in a tropical forest. *Annals of Forest Science*, 2001, 58(8): 877-891.
- [34] Soudani K, Trautmann J, Walter J M. Comparison of optical methods for estimating canopy openness and leaf area index in broad-leaved forests. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Series III Sciences de la Vie*, 2001, 324(4): 381-392.
- [35] Welles J M, Norman J M. Instrument for indirect measurement of canopy architecture. *Agronomy Journal*, 1991, 83(5): 818-825.
- [36] Macfarlane C, Grigg A, Evangelista C. Estimating forest leaf area using cover and fullframe fisheye Photography: thinking inside the circle. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2007, 146(1/2): 1-12.
- [37] Zhang Y Q, Chen J M, Miller J R. Determining digital hemispherical photograph exposure for leaf area index estimation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2005, 133(1/4): 166-181.
- [38] Chen J M, Black T A, Adams R S. Evaluation of hemispherical Photography for determining plant area index and geometry of a forest stand. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1991, 56(1/2): 129-143.
- [39] Fassnacht K S, Gower S T, Norman J M, McMurtrie R E. A comparison of optical and direct methods for estimating foliage surface area index in forests. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1994, 71(1/2): 183-207.

参考文献:

- [18] 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.

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)

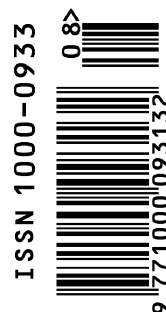
第 33 卷 第 8 期 (2013 年 4 月)

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