

立地类型对长白山天然白桦林生态系统碳储量的影响

李娜娜¹, 牟长城^{1*}, 郑瞳¹, 张毅¹, 程家友², 曹万亮³

(1. 东北林业大学生态研究中心, 黑龙江 哈尔滨 150040; 2. 吉林省白河林业局, 吉林 延吉 133613;
3. 吉林省敦化林业局, 吉林 延吉 133700)

摘要:利用相对生长方程与碳/氮分析法, 对比分析长白山天然白桦林在 7 个立地类型(阳坡上、中、下部与阴坡上、中、下部及谷地)上的生态系统碳储量(植被与土壤)、净初级生产力与年净固碳量, 揭示立地类型对温带白桦林生态系统碳库与固碳能力的影响规律。结果表明:①长白山天然白桦林植被碳储量($45.61 \sim 87.22 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)呈阴坡上、中部与谷地 > 阳坡上、中部与阴坡下部 > 阳坡下部变化趋势, 且高立地型显著高于低立地型 $50.8\% \sim 91.2\%$ ($P < 0.05$), 中立地型高于低立地型 $20.4\% \sim 44.4\%$ ($P > 0.05$);②土壤碳储量($66.71 \sim 158.51 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)呈阳坡上部、阴坡中部与谷地 > 阳坡中、下部与阴坡下部 > 阴坡上部变化趋势, 且高立地型显著高于低立地型 $99.3\% \sim 137.6\%$ ($P < 0.05$), 中立地型高于低立地型 $40.7\% \sim 67.0\%$ ($P > 0.05$);③生态系统碳储量($139.44 \sim 231.12 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$), 呈阴坡中部与谷地 > 阳坡上部与阴坡下部 > 阳坡中、下部与阴坡上部变化趋势, 且高立地型显著高于低立地型 $35.6\% \sim 65.7\%$ ($P < 0.05$), 中立地型高于低立地型 $5.8\% \sim 34.7\%$ ($P > 0.05$);④植被净初级生产力($4.92 \sim 11.25 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)和年净固碳量($2.32 \sim 5.32 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)均呈阴坡上、中部 > 阳坡上、下部与阴坡下部及谷地 > 阳坡中部变化趋势, 且高立地型显著高于中、低立地型 $42.5\% \sim 128.7\%$ 和 $45.2\% \sim 129.3\%$ ($P < 0.05$), 中立地型高于低立地型 $10.6\% \sim 56.3\%$ 和 $14.2\% \sim 53.4\%$, 但仅阴坡下部提高显著。因此, 长白山白桦林生态系统碳库与固碳能力均受到立地类型的强烈影响, 故对其碳汇功能评价应考虑其立地分异规律性。

关键词:长白山; 白桦林; 生态系统碳储量; 净初级生产力; 年固碳量; 立地类型

中图分类号: S714

文献标识码: A

Effect of Site Types on Carbon Storage of Natural White Birch Forest Ecosystem in Changbai Mountains, Northeast China

LI Na-na¹, MU Chang-cheng¹, ZHENG Tong¹, ZHANG Yi¹, CHENG Jia-you², CAO Wan-liang³

(1. Center for Ecological Research, Northeast Forestry University, Harbin 150040, Heilongjiang, China;
2. Baihe Forestry Bureau, Yanji 133613, Jilin, China; 3. Dunhua Forestry Bureau, Yanji 133700, Jilin, China)

Abstract: The effect of site types on the ecosystem carbon storage (vegetation and soil), net primary productivity (NPP) and annual net carbon sequestration (ANCS) of natural white birch (*Betula platyphylla* Suk.) forests were measured on seven site types (the top, middle, and bottom of the sunny slope and shady slope, and the valley floor) using relative growth equations and carbon/nitrogen analytical approach in Changbai Mountains, Northeast China. The results are as follows. (1) The vegetation carbon storage ($45.61 \sim 87.22 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) of natural white birch forests took on the upper and middle of shady slope and the valley > the upper and middle of sunny slope, and the lower of shady slope > the lower of sunny slope, which the high site types were significantly higher

收稿日期: 2014-12-20

基金项目: 国家“十二五”科技支撑项目(2012BAD21B02)

作者简介: 李娜娜(1988—), 女, 硕士研究生, 主要研究方向: 森林生态学, E-mail: linana472@163.com

* 通讯作者: 牟长城, 教授。E-mail: mcnefu@yahoo.com

(50.8%~91.2%, $P < 0.05$) than the low site type, and the medium site types were 20.4%~44.4% higher than the low site type ($P > 0.05$). (2) The soil organic carbon storage ($66.71 \sim 158.51 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) took on the upper of sunny slope, the middle of shady slope and the valley > the lower and middle of sunny slope, and the lower of shady slope > the upper of shady slope, which the high site types were significantly higher (99.3%~137.6%, $P < 0.05$) than the low site type, and the medium site types were 40.7%~67.0% higher than the low site type ($P > 0.05$). (3) The ecosystem carbon storage ($139.44 \sim 231.12 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) took on the middle of shady slope and the valley > the upper of sunny slope and the lower of shady slope > the lower and the middle of sunny slope, and the upper of shady slope, which the high site types were significantly higher (35.6%~65.7%, $P < 0.05$) than the low site type, and the medium site types were 5.8%~34.7% higher ($P > 0.05$) than the low site type. (4) The NPP and ANCS of the white birch forests ($4.92 \sim 11.25 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ and $2.32 \sim 5.32 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) all took on the upper and middle of shady slope > the upper and lower of sunny slope, the lower of shady slope, and the valley > the middle of sunny, which the high site types were significantly higher (42.5%~128.7% or 45.2%~129.3%, $P < 0.05$) than the low and medium site type, and the medium site types were 10.6%~56.3% or 14.2%~53.4% higher than the low site type, but only the lower of shady slope had significant difference with it. Therefore, the ecosystem carbon storage and carbon sequestration capacity of natural birch forests were strongly influenced by the site types in Changbai Mountains, and the site differentiation regularity should be considered in the evaluation of the carbon sink function.

Key words: Changbai Mountains; *Betula platyphylla*; white birch forest; ecosystem carbon storage; net primary productivity; net carbon sequestration; site type

森林是陆地生态系统的主体,在应对全球气候变化的大背景下,如何经营管理好陆地森林,提高或维持其碳汇功能以期减缓气候变化已是亟待解决的重大科学问题之一^[1]。故森林的固碳能力和环境影响机制颇受研究者的关注^[2-3]。

现有研究表明:森林的碳汇功能受自然因子(光照、降水等)的共同影响,而地形主要通过改变光、温、水、土、肥等生态因子影响植被的分布与发育,进而影响着森林碳汇功能的发挥^[4]。目前国内有关立地条件对森林生态系统碳汇影响方面的研究仍相对较少。现有相关研究多是通过研究立地类型与林木生长的关系,进而为一些主要造林树种筛选出适生立地,如 Ayed Al Omary^[5]研究了坡向坡位对约旦白松(*Pinus halepensis* Mill.)的生长和营养状况的影响得出,谷地的所有生长参数都高于其他坡位。通过研究大兴安岭南部天然白桦(*Betula platyphylla* Suk.)生长规律得出山坡的中下部最适合白桦生长^[6];张广才岭白桦适生立地条件为阳坡中坡位,而低平地不适宜白桦生长^[7];坡向和坡位对水曲柳(*Fraxinus mandshurica* Rupr.)中幼龄林生长也有重要影响^[8-10]。而有关立地对森林碳储量影响方面的研究却很少见,国外 Moser Gerald^[11]等研究了海拔对厄瓜多尔热带森林碳预算的影响得出,

地上生物量和生产力随海拔的升高而降低。Zhu 等研究海拔对长白山温带森林碳储量的影响得出,针阔混交林(700~1 100 m),云冷杉林(1 100~1 800 m),岳华林(1 800~2 000 m)3个生态系统随海拔高度的升高,植被碳密度显著降低,凋落物碳密度先升高后降低,土壤有机碳密度升高但差异不显著^[12];国内仅见有立地对麻栎(*Quercus acutissima* Carr.)人工林碳储量的影响(阴坡更有利于麻栎人工林碳储量的增加)^[13]以及立地(坡向坡位、海拔等)对毛竹(*Phyllostachys edulis* (Carr.) H. de Lahaie)林生物量和碳储量的影响^[4,14]。但有关立地对东北林区白桦林碳储量影响方面研究尚未有报道,故对东北林区白桦林碳汇的立地分异规律性仍缺乏认识。

长白山林区是我国天然林保护工程的重点地区,也是森林资源最丰富的地区之一。但由于过去过度利用与干扰破坏,致使绝大部分地带性顶极植被原始阔叶红松(*Pinus koraiensis* Siebold et Zuccarini)林已退化为次生林与人工林,如吉林省的次生林占全省森林面积的72%,而杨桦林又占其次生林面积的30%~40%^[15],故如何经营好现有次生林对本区提高木材产量及增加森林碳汇至关重要。

本文选择长白山天然白桦林为研究对象,运用

相对生长方程与碳/氮分析方法,调查分析了白桦林在7个立地类型(阳坡上、中、下部与阴坡上、中、下部及谷地)上的植被碳储量、土壤碳储量、生态系统碳储量及净初级生产力与年净固碳量,以便揭示立地类型对温带白桦林生态系统碳库与固碳能力的影响规律,并为我国东北次生林经营及其碳汇管理提供科学依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

研究地位于吉林省白河林业局光明林场,地理位置为 $42^{\circ}01' \sim 42^{\circ}48' N$ 、 $127^{\circ}53' \sim 128^{\circ}34' E$,平均海拔800 m,坡度一般 $5^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 。研究地区气候属于温带大陆性季风气候,春季较干旱多风,夏季炎热多雨,冬季干燥寒冷,年平均气温 $3.0^{\circ}C$,年均最高温度(7月) $27.9^{\circ}C$,年均最低温度(1月) $-32.0^{\circ}C$,无霜期110天;年平均降水量713 mm左右,主要集中在6—8月。地带性土壤为暗棕壤,地带性植被为温带针阔混交林。但由于过度利用与干扰破坏,目前绝大部分红松原始林已退化为天然次生林与人工林,次生林主要包括山杨林、白桦林、蒙古栎林、杂木林及硬阔叶林等森林类型。本试验地中天然白桦次生林面积相对较大(22 hm^2),且集中连片分布,各立地类型(阳坡上、中、下部和阴坡上、中、下部及谷地)上均有分布,且各立地类型上白桦林的林龄相近(35年)及树种组成也相似(乔木层均以白桦为优势种,混有山杨(*Populus davidiana* Dode.)、蒙古栎

(*Quercus mongolica* Fischer ex Ledebour.)、紫椴(*Tilia amurensi* Rupr.)、春榆(*Ulmus davidiana* Planch var. *japonica* (Rehd.) Nakai)、水曲柳、黄菠萝(*Phellodendron amurense* Rupr.)等树种;灌木层主要有暴马丁香(*Syringa reticulata* (Blume) H. Hara var. *amurensis* (Ruprecht) P. S. Green & M. C. Chang)、珍珠梅(*Sorbaria sorbifolia* (Linn.) A. Br.)、毛榛(*Corylus mamdszurica* Maxim.)、绣线菊(*Spiraea* spp.)等;草本层主要有木贼(*Equisetum hiemale* Linn.)、山茄子(*Braciybotrys paridiformis* Maxim. ex Oliv.)、蚊子草(*Filipendula palmate* (Pall.) Maxim.)、大叶柴胡(*Bupleurum longiradiatum* Turcz.)、苔草(*Corex* spp.)等,故是研究立地类型对白桦林碳汇影响的理想场所。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置 于2013年4月在长白山白河林业局光明林场开展了立地类型对天然白桦林生态系统碳库及其固碳能力影响试验,试验选择林龄相近(35年)、分布较集中及人为活动干扰较少(未进行采伐作业)的天然白桦林为研究对象,依据坡向与坡位组合确定了7种立地类型(阳坡上、中、下部和阴坡上、中、下部及谷地),并在每个立地类型上各设置3块 $20 \text{ m} \times 30 \text{ m}$ 的固定标准地(3次重复),共计设置21块标准地。并于2013年生长初期(5月)与生长结束期(10月)对各标准地进行了植被、土壤及凋落物等方面的调查取样。样地状况见表1。

表1 长白山7种立地类型乔木统计特征

立地类型	平均胸径/cm	胸径范围/cm	密度/ (株·hm ⁻²)	树种组成
谷地	13.31 ± 1.55	4.2 ~ 40.0	1 217 ± 203	5 白桦 3 落叶松 + 山杨 + 臭冷杉 + 蒙古栎 + 山槐 + 五角槭 + 紫椴 - 云杉 - 黄菠萝
阳上	14.79 ± 1.70	4.2 ~ 35.7	961 ± 59	5 白桦 1 落叶松 1 山槐 1 水曲柳 1 五角槭 1 紫椴 + 蒙古栎 + 春榆 + 云杉 - 臭冷杉 - 黄菠萝
阳中	15.73 ± 1.02	4.8 ~ 39.8	1 156 ± 167	4 白桦 1 落叶松 1 山杨 1 五角槭 1 紫椴 + 蒙古栎 + 山槐 + 水曲柳 - 红松 - 黄菠萝 - 臭冷杉 - 春榆
阳下	12.42 ± 1.42	4.0 ~ 31.0	789 ± 142	5 白桦 3 落叶松 1 山槐 1 水曲柳 + 春榆 - 红松 - 黄菠萝 - 蒙古栎 - 五角槭 - 云杉 - 紫椴
阴上	12.83 ± 0.27	4.9 ~ 27.0	1 911 ± 201	5 白桦 3 山杨 1 蒙古栎 1 水曲柳 + 春榆 + 紫椴 - 红松 - 黄菠萝 - 五角槭
阴中	12.57 ± 1.62	4.0 ~ 42.1	1 878 ± 713	5 白桦 2 山杨 1 蒙古栎 1 水曲柳 1 紫椴 + 黄菠萝 + 五角槭 + 春榆 - 红松 - 落叶松
阴下	14.52 ± 1.13	4.1 ~ 39.5	1 017 ± 460	5 白桦 4 山杨 + 春榆 - 臭冷杉 - 红松 - 黄菠萝 - 落叶松 - 蒙古栎 - 山槐 - 五角槭 - 紫椴

注:平均值 ± 标准差(n=3),五角槭 *Acer mono* Maxim.; 臭冷杉 *Abies nephrolepis* (Trautv.) Maxim.; 落叶松 *Larix gmelinii* (Ruprecht) Kuzenova.; 云杉 *Picea asperata* Mast.; 山槐 *Albizia kalkora* (Roxb.) Prain.。树种组成中的数字表示该树种胸高断面面积所占的成数。+、- 分别表示组成比例 <5% 和 <2%。

1.2.2 植被碳储量测定 乔木层生物量调查:首先对各标准地中胸径大于4 cm(小于4 cm 乔木幼树以灌木计)林木进行编号并每木检尺,然后按2 cm 划分径级选取各径级白桦的标准木(在各类型标准地

附近相同林分中选取),共计选择12株白桦标准木,实测标准木的树干、树枝、树叶、树根的生物量,建立白桦胸径与各组分生物量的回归方程,其他树种则是利用东北林区现有的乔木树种生物量方程^[16-17]

(表2),最后结合林分径级分布调查数据计算出各立地类型乔木层的生物量。

表2 长白山白桦相对生长方程拟合结果

组分	生物量方程	R^2	标准误	F	显著性
干	$W=0.0873D^{2.4481}$	0.9873	0.165	1009.441	0.000
枝	$W=0.0023D^{3.1256}$	0.8986	0.623	115.165	0.000
叶	$W=0.0027D^{2.269}$	0.8264	0.617	61.898	0.000
根	$W=0.0309D^{2.4059}$	0.9311	0.388	175.696	0.000
单木	$W=0.1167D^{2.5078}$	0.9949	0.106	2546.647	0.000

W 为生物量,kg; D 为胸径,cm。

灌木层与草本层生物量测定:在每个标准地(20 m × 30 m)内随机设置3个2 m × 2 m 灌丛样方,5个1 m × 1 m 的草丛样方,采用收获法,获取灌木层与草本层地上与地下的生物量鲜质量,并对其进行取样,在70℃下烘干至恒质量,计算两者含水率,得到灌、草丛生物量干质量。

凋落物生物量测定:于秋季落叶后在每个地中分别设置10个20 cm × 20 cm 的小样方,收集其中全部凋落物装入封口袋,带回实验室,在70℃下烘干至恒质量,得到凋落物的生物量。

植被碳储量测定:利用碳/氮分析仪 EA4000 通过1300℃干烧法测定乔木层、灌木层、草本层、凋落物层有机碳含量,然后用各组分的生物量乘以碳含量,可得到乔木层、灌木层、草本层与凋落物层的碳储量,将四者相加即可获得植被的碳储量。

1.2.3 土壤碳储量测定 在每个标准样地中心,以“品”字形设置3个土壤剖面,共计调查63个土壤剖面。由于土层较浅,50 cm(阴坡40 cm)以下即为母质层,下层取样深度到母质层为止。确定土壤剖面后,用土壤环刀(100 cm³)每10 cm为一取样层,土样用铝盒封装,带回实验室在烘箱105℃下烘干24 h后,测定其土壤密度;同时在同一土层深度取约500 g 土样装入样品袋,带回实验室自然风干后,取出其中大于2 mm 的根系或岩石后,在70℃下烘干24 h,研磨粉碎后过2 mm 土壤筛,利用碳/氮分析仪 EA4000 测定土壤有机碳含量,并利用以下公式计算土壤有机碳储量。

某一土层 i 的有机碳密度(SOC_i , kg · m⁻²)的计算公式为^[18]:

$$SOC_i = C_i \times D_i \times E_i \times (1 - G_i) / 100$$

式中, C_i 为土壤有机碳含量(g · kg⁻¹), D_i 为密度(g · cm⁻³), E_i 为土层厚度(cm), G_i 为直径大于2 mm 的石砾所占的体积百分比(%)。

如果某一土壤剖面由 k 层组成,那么该剖面的

碳密度(SOC_i , kg · m⁻²)为^[18]:

$$SOC_i = \sum_{i=1}^k SOC_i = \sum_{i=1}^k C_i \times D_i \times E_i \times (1 - G_i) / 100$$

1.2.4 植被净初级生产力和年净固碳量测定 乔木层净初级生产力是通过计算2013年5月(生长开始期)和9月(生长停止期)生物量的差值得到,灌木层净初级生产力为其生物量除以平均年龄(5 a)^[19-20],草本层净初级生产力为其当年的生物量,将三者相加即可得到各立地类型的植被净初级生产力;乔木层、灌木层、草本层的年净固碳量通过各自的年净初级生产力与其相应的碳含量的乘积获得,将三者相加即可得到各立地类型的植被年净固碳量。

1.3 数据处理

文中数据均采用 SPSS 19.0 软件进行单因素方差分析,采用最小显著差异法分析不同数据组间的差异性,显著性水平设置为 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 立地对长白山白桦林植被碳储量的影响

由表3可以得到,立地类型对长白山天然白桦林的植被碳储量具有影响。7个立地类型上白桦林的植被碳储量分布在45.61 ± 13.39 ~ 87.22 ± 6.41 t · hm⁻²之间,其中,阴坡上、中部与谷地3个立地类型上的植被碳储量显著高于阳坡下部50.8% ~ 91.2% ($P < 0.05$),阳坡上、中部与阴坡下部3个立地类型也高于阳坡下部但差异性均不显著(20.4% ~ 44.4%, $P > 0.05$)。因此,长白山天然白桦林的植被碳储量在阴坡上、中部与谷地为高立地型,阳坡上、中部与阴坡下部为中立地型,阳坡下部则为低立地型。

立地类型对白桦林各植被层碳储量的影响规律也不同。其乔木层碳储量在阴坡上、中部与谷地显著高于阳坡下部52.8% ~ 96.7% ($P < 0.05$),阳坡上、中部与阴坡下部也高于阳坡下部但差异性均不显著(17.5% ~ 43.9%, $P > 0.05$),总体上呈现出阴坡上、中部与谷地 > 阳坡上、中部与阴坡下部 > 阳坡下部的变化规律性;灌木层碳储量在阳坡中、下部显著高于谷地43.3% ~ 45.6% ($P < 0.05$),阳坡上部、阴坡各坡位也高于谷地但差异性均不显著(17.8% ~ 31.1%, $P > 0.05$),呈阳坡中、下部 > 阳坡上部和阴坡各坡位 > 谷地变化规律性;草本层碳储量仅在阴坡中部显著高于谷地、阳坡中部与阴坡上、下部83.9% ~ 171.4% ($P < 0.05$),阳坡上、下部也高于

后四者但差异性均不显著(9.7%~114.3%, $P > 0.05$),呈阴坡中部>阳坡上、下部>谷地、阳坡中部与阴坡上、下部的变化规律性;凋落物层碳储量仅在阴坡下部显著高于阳坡下部78.8% ($P < 0.05$),其他5个立地类型高于阳坡下部但差异性均不显著(28.3%~69.5%, $P > 0.05$),呈阴坡下部>阳坡

上、中部和阴坡上、中部及谷地>阳坡下部变化规律性。可见,乔木层碳储量随立地类型变化趋势与其植被相类似,而灌木层仅在阳坡中下部、草本层仅在阴坡中部、凋落物层仅在阴坡下部碳储量相对较高,亦即后三者随立地类型变化趋势均与其植被有所不同。

表3 长白山7种立地类型上白桦林植被碳储量及其分布特征

指标	层次	立地类型						
		I	II	III	IV	V	VI	VII
碳储量/ ($t \cdot \text{hm}^{-2}$)	乔木层	62.22 ± 9.82bcd	47.82 ± 10.41ab	55.84 ± 11.93abc	40.71 ± 11.73a	76.28 ± 6.77cd	80.08 ± 6.74d	58.60 ± 16.53abc
	灌木层	0.90 ± 0.20a	1.18 ± 0.11ab	1.29 ± 0.06b	1.31 ± 0.16b	1.08 ± 0.09ab	1.06 ± 0.31ab	1.13 ± 0.30ab
	草本层	0.21 ± 0.16a	0.45 ± 0.23ab	0.26 ± 0.11a	0.34 ± 0.10ab	0.28 ± 0.04a	0.57 ± 0.09b	0.31 ± 0.07a
	凋落物层	5.47 ± 1.26ab	5.46 ± 0.77ab	5.40 ± 1.59ab	3.25 ± 1.91a	4.17 ± 1.34ab	5.51 ± 0.68ab	5.81 ± 0.65b
	植被	68.80 ± 10.30bcd	54.91 ± 11.28ab	62.79 ± 10.74abc	45.61 ± 13.39a	81.81 ± 5.67cd	87.22 ± 6.41d	65.85 ± 17.40abcd
分配比/%	乔木	90.36 ± 1.89abc	86.93 ± 1.57a	88.45 ± 4.54ab	89.26 ± 2.16abc	93.17 ± 2.03d	91.81 ± 1.02bc	88.64 ± 2.02abc
	灌木层	1.31 ± 0.13ab	2.19 ± 0.29c	2.10 ± 0.45bc	2.87 ± 0.85d	1.32 ± 0.10ab	1.22 ± 0.41a	1.76 ± 0.42abc
	草本层	0.34 ± 0.29a	0.77 ± 0.29ab	0.41 ± 0.15ab	0.75 ± 0.43b	0.34 ± 0.06a	0.65 ± 0.06ab	0.48 ± 0.03ab
	凋落物	7.99 ± 1.62ab	10.11 ± 1.57b	9.04 ± 4.24ab	7.12 ± 2.69ab	5.17 ± 1.90a	6.32 ± 1.06ab	9.11 ± 1.69ab

注:表中给出数据是平均值±标准差,不同小写字母表示不同立地类型植被碳储量差异显著($P < 0.05$)。I-谷地;II、III、IV-阳坡上、中、下部;V、VI、VII-阴坡上、中、下部。下同。

2.2 立地对长白山白桦林土壤碳储量的影响

由表4可以得到,立地类型对长白山白桦林土壤碳储量也有显著影响。7个立地类型上白桦林的土壤碳储量分布在 $66.71 \pm 14.92 \sim 158.51 \pm 38.21 t \cdot \text{hm}^{-2}$ 之间,其中,阳坡上部、阴坡中部和谷地的土壤碳储量显著高于阴坡上部99.3%~137.6% ($P < 0.05$),三者也高于阳坡中、下部与阴坡下部(19.4%~68.9%),但仅有谷地显著高于阳坡中、下部(51.3%~68.9%, $P < 0.05$),而阳坡中、下部与阴坡下部高于阴坡上部但差异性均不显著(40.7%~67.0%, $P > 0.05$)。因此,长白山白桦林土壤碳储量在阳坡上部、阴坡中部和谷地为高立地型,阳坡中、下部与阴坡下部为中立地型,阴坡上部则为低立地型。

立地类型对白桦林土壤碳储量的空间分布格局也有影响。在水平分布上,0~10 cm土壤层碳储量在阳坡中部与阴坡中、下部最高(显著高于阴坡上部41.0%~87.0%, $P < 0.05$),阳坡上、下部与谷地居中(高于阴坡上部6.0%~26.9% ($P > 0.05$)),但差异性均不显著,阴坡上部则最低;10~20 cm土壤层碳储量在阴坡中部最高(显著高于其他6个立地类型33.5%~328.6%, $P < 0.05$),谷地、阳坡上部与阴坡下部居中(显著高于阳坡中、下部与阴坡上部74.7%~220.9%, $P < 0.05$),阳坡中、下部与阴坡上部则最低;20~30 cm土壤层碳储量在谷地、阳坡

上部和阴坡中部相对较高(显著高于阳坡中、下部和阴坡上、下部94.2%~311.4%, $P < 0.05$),而后4个立地类型则相对较低;30~40 cm土壤层碳储量在谷地最高(显著高于其他6个立地类型69.2%~317.0%, $P < 0.05$),阳坡上、下部与阴坡中、下部居中(高于阳坡中部与阴坡上部30.3%~146.5%,但仅有阴坡中部提高显著),阳坡中部与阴坡上部则最低;40~50 cm土壤层碳储量在谷地和阳坡上部相对较高(显著高于阳坡下部247.5%~370.0%, $P < 0.05$),阳坡中部高于阳坡下部但差异性并不显著(119.1%, $P > 0.05$)。由此可见,阴坡中部在0~30 cm 3个土壤层最高,谷地在20~50 cm 3个土壤层最高、阳坡中部在20~30 cm与40~50 cm 2个土壤层碳储量最高、阳坡中部仅在0~10 cm 1个土壤层最高且其他土壤层均最低、阴坡上部在0~50 cm各土壤层均最低。这说明立地类型对白桦林土壤碳储量水平分布格局产生了实质性影响。

在垂直分布上,阳坡上、下部与阴坡上、下部4个立地类型的土壤碳储量可分为3层(0~20、20~30、30~50 cm;0~10、10~30、30~50 cm;0~10、10~30、30~40 cm;0~10、10~20、20~40 cm),且上、中、下3个土壤层之间均存在着显著差异性;谷地、阳坡中部、阴坡中部3个立地类型的土壤碳储量可分为2层(0~20、20~50 cm;0~10、10~50 cm;0~20、20~40 cm),且上、下2个土壤

层之间一般均存在着显著差异性(谷地除外)。这产生了实质性影响。说明立地类型对白桦林土壤碳储量垂直分布格局也

表4 长白山7种立地类型白桦林土壤有机碳储量及其分布特征

t · hm⁻²

土壤深度 /cm	立地类型						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
0~10	42.39 ± 4.21Aabc	38.76 ± 7.27Aab	68.37 ± 6.89Ad	46.41 ± 6.54Aabc	36.56 ± 1.62Aa	54.60 ± 5.99Ac	51.55 ± 2.21Abc
10~20	36.54 ± 2.76ABb	36.62 ± 2.56Ab	11.52 ± 1.53Ba	20.91 ± 3.26Ba	12.20 ± 0.93Ba	49.37 ± 7.81Ac	36.97 ± 1.72Bb
20~30	31.27 ± 1.98BCc	29.11 ± 2.46Bbc	7.60 ± 1.45Ba	12.21 ± 1.65BCa	11.37 ± 1.82Ba	23.71 ± 2.67Bb	12.13 ± 0.56Ca
30~40	27.44 ± 4.58BCc	13.05 ± 1.55Cab	7.57 ± 1.19Ba	9.86 ± 0.96Cab	6.58 ± 1.66Ca	16.22 ± 4.58Bb	10.75 ± 0.43Cab
40~50	20.87 ± 5.40Cc	15.43 ± 1.94Cbc	9.73 ± 1.94Bab	4.44 ± 1.31Ca	-	-	-
合计	158.51 ± 38.21c	132.97 ± 13.15bc	104.79 ± 12.75ab	93.83 ± 36.70ab	66.71 ± 14.92a	143.90 ± 42.34bc	111.40 ± 4.56abc

注:不同大写字母表示不同土壤层碳储量差异显著($P < 0.05$),不同小写字母表示不同立地类型碳储量差异显著($P < 0.05$)。

2.3 立地对长白山白桦林生态系统碳储量影响

由表5可以得到,立地类型对长白山天然白桦林生态系统碳储量具有影响。7种立地类型上白桦林的生态系统碳储量分布在 $139.44 \pm 42.71 \sim 231.12 \pm 40.20$ t · hm⁻²之间,其中,阴坡中部与谷地2个立地类型的生态系统碳储量显著高于阳坡中、下部与阴坡上部3个立地类型35.6%~65.7% ($P < 0.05$),两者也高于阳坡上部与阴坡下部2个立地类型但差异性不显著(21.0%~30.4%, $P > 0.05$),同时阳坡上部与阴坡下部高于阳坡中、下部与阴坡上部但差异不显著(5.8%~34.7%, $P > 0.05$)。因此,长白山天然白桦林生态系统碳储量在阴坡中部与谷地为高立地型,阳坡上部与阴坡下部

居于中立地型,而在阳坡中、下部与阴坡上部则为低立地型。

立地类型对白桦林生态系统碳储量的组成结构也有影响。在阳坡上、下部与谷地3个立地类型上白桦林的土壤碳储量(67.3%~70.8%)与植被碳储量(29.2%~32.7%)占比约为7:3,在阳坡中部与阴坡中、下部3个立地类型上土壤碳储量(62.3%~63.2%)与植被碳储量(36.8%~37.7%)占比约为6:4,而在阴坡上部立地类型上土壤碳储量(44.6%)与植被碳储量(55.4%)占比约为5:5。由此可见,立地类型能够引起白桦林生态系统碳储量组成结构的显著变化。

表5 长白山7种立地类型上白桦林生态系统碳储量及其分布特征

指标	层次	立地类型						
		I	II	III	IV	V	VI	VII
碳储量/ (t · hm ⁻²)	植被	68.80 ± 10.30bcd	54.91 ± 11.28ab	62.79 ± 10.74abc	45.61 ± 13.39a	81.81 ± 5.67cd	87.22 ± 6.41d	65.85 ± 17.40abcd
	土壤	158.51 ± 38.21c	132.97 ± 13.15bc	104.79 ± 12.75ab	93.83 ± 36.70ab	66.71 ± 14.92a	143.90 ± 42.34bc	111.40 ± 4.56abc
	系统	227.31 ± 36.53b	187.88 ± 24.25ab	167.58 ± 21.94a	139.44 ± 42.71a	148.52 ± 9.72a	231.12 ± 40.20b	177.25 ± 16.25ab
分配比/%	植被	30.27 ± 7.49ab	29.23 ± 2.50a	37.37 ± 2.64b	32.71 ± 8.42a	55.40 ± 7.35c	37.74 ± 7.20b	36.76 ± 6.99b
	土壤	69.73 ± 7.49b	70.77 ± 2.50b	62.63 ± 2.64b	67.29 ± 8.42b	44.61 ± 7.35a	62.26 ± 7.20b	63.24 ± 6.99b

2.4 立地对白桦林植被净初级生产力与年净固碳量的影响

由表6可以得到,立地对长白山天然白桦林的植被净初级生产力与年净固碳量具有较大影响。7个立地类型上白桦林的植被净初级生产力与年净固碳量分布在 $4.92 \pm 0.51 \sim 11.25 \pm 1.00$ t · hm⁻² · a⁻¹和 $2.32 \pm 0.26 \sim 5.32 \pm 0.50$ t · hm⁻² · a⁻¹之间,其中,阴坡上、中部2个立地类型的净初级生产力与年净固碳量均显著高于其他5个立地类型42.5%~128.7%和45.2%~129.3% ($P < 0.05$),而阳坡上、下部与阴坡下部及谷地4个立地类型的

净初级生产力与年净固碳量高于阳坡中部10.6%~56.3%和14.2%~53.4%,但仅阴坡下部与之存在显著差异性(56.3%和53.4%, $P < 0.05$),且阴坡下部与阳坡上、下部及谷地之间差异性均不显著。因此,长白山白桦林的植被净初级生产力与年净固碳量在阴坡上、中部为高立地型,阳坡上、下部与阴坡下部及谷地为中立地型,而阳坡中部为低立地型。

立地对白桦林各植被层净初级生产力和年净固碳量的影响规律也有所不同。其乔木层净初级生产力在阴坡上、中部显著高于其他5个立地类型44.7%~164.4% ($P < 0.05$),而阳坡下部、阴坡下

部及谷地高于阳坡上、中部 7.2%~73.1% (仅阴坡下部显著高于后两者);其年净固碳量在阴坡上、中部显著高于其他 5 个立地类型 50.3%~160.0% ($P < 0.05$), 谷地、阴坡下部及阳坡上、下部高于阳坡中部 8.9%~67.8% (仅阴坡下部显著高于后者, $P < 0.05$)。故其乔木层净初级生产力和年净固碳量分别呈阴坡上、中部 > 阳坡下部、阴坡下部及谷地 > 阳坡上、中部或阴坡上、中部 > 阴坡下部、谷地及阳坡上、下部 > 阳坡中部的变化规律性;灌木层净初级生产力和年净固碳量在阳坡中部显著高于谷地 (47.2%, $P < 0.05$), 其他 5 个立地类型高于谷地但差异性均不显著 (19.4%~41.7%, $P > 0.05$);其年净固碳量在阳坡中、下部显著高于谷地 (44.4%, $P < 0.05$), 其他 4 个立地类型高于谷地但差异性均不显著 (16.7%~33.3%, $P > 0.05$)。故灌木层净初级生产力和年净固碳量分别呈阳坡中部 > 阳坡上、下部与阴坡各坡位 > 谷地或阳坡中、下部 > 阳坡上部与阴坡各坡位

> 谷地的变化规律性;草本层净初级生产力和年净固碳量在阴坡中部显著高于除阳坡上部以外的其他 5 个立地类型 (64.9%~196.3%, $P < 0.05$), 阳坡上部也高于上述 5 个立地类型但差异性均不显著 (10.3%~98.1%, $P > 0.05$);其年净固碳量在阴坡中部显著高于阳坡中部与阴坡上、下部及谷地 4 个立地类型 (83.9%~171.4%, $P < 0.05$), 阳坡上、下部也高于上述 4 个立地类型但差异性均不显著 (9.7%~114.3%, $P > 0.05$)。故草本层净初级生产力和年净固碳量分别呈阴坡中部 > 阳坡上部 > 阳坡中、下部与阴坡上、下部及谷地或阴坡中部 > 阳坡上、下部 > 阳坡中部与阴坡上、下部及谷地的变化规律性。由此可见, 乔木层净初级生产力和年净固碳量随立地类型变化趋势与其植被相类似, 而灌木层和草本层净初级生产力和年净固碳量随立地类型变化趋势却与其植被不同。

表 6 长白山 7 种立地类型白桦林植被净初级生产力和年净固碳量

指标	层次	立地类型						
		I	II	III	IV	V	VI	VII
净初级生产力/ ($t \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	乔木层	5.24 ± 1.37ab	3.90 ± 0.39a	3.68 ± 0.76a	4.18 ± 1.12ab	9.73 ± 1.05c	9.22 ± 0.97c	6.37 ± 2.40b
	灌木层	0.36 ± 0.08a	0.47 ± 0.04ab	0.53 ± 0.03b	0.51 ± 0.07ab	0.46 ± 0.04ab	0.43 ± 0.12ab	0.47 ± 0.11ab
	草本层	0.54 ± 0.37a	1.07 ± 0.51ab	0.71 ± 0.28a	0.97 ± 0.46a	0.77 ± 0.10a	1.60 ± 0.27b	0.85 ± 0.18a
	植被层	6.14 ± 1.44ab	5.44 ± 0.53ab	4.92 ± 0.51a	5.66 ± 0.74ab	10.96 ± 1.03c	11.25 ± 1.00c	7.69 ± 2.58b
年净固碳量/ ($t \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	乔木层	2.61 ± 0.70ab	1.96 ± 0.20ab	1.80 ± 0.37a	2.07 ± 0.51ab	4.68 ± 0.58c	4.54 ± 0.48c	3.02 ± 1.07b
	灌木层	0.18 ± 0.04a	0.24 ± 0.02ab	0.26 ± 0.01b	0.26 ± 0.03b	0.22 ± 0.02ab	0.21 ± 0.06ab	0.23 ± 0.06ab
	草本层	0.21 ± 0.16a	0.45 ± 0.23ab	0.26 ± 0.11a	0.34 ± 0.10ab	0.27 ± 0.04a	0.57 ± 0.09b	0.31 ± 0.07a
	植被层	3.00 ± 0.71ab	2.65 ± 0.26ab	2.32 ± 0.26a	2.67 ± 0.43ab	5.17 ± 0.57c	5.32 ± 0.50c	3.56 ± 1.15b

3 结论与讨论

3.1 立地对白桦林植被碳储量的影响

本研究得到长白山天然白桦林的植被碳储量在阴坡上、中部与谷地最高, 阳坡上、中部与阴坡下部居中, 阳坡下部则最低。与成向荣^[13]、Ayed Al Omary^[5]得出的结论一致。阳坡一般均相对较低可能是由于在长白山地区限制白桦生长的不是光照和温度, 而是土壤水分, 阳坡土壤较干旱限制了白桦的生长所致。谷地植被碳储量高可能是因为谷地土壤较其他立地类型肥沃^[4,21]。

本研究得到长白山天然白桦林的植被碳储量为 66.71 (45.61 ~ 87.22) $t \cdot \text{hm}^{-2}$; 总体上高于帽儿山天然白桦林的植被碳储量 (44.82 $t \cdot \text{hm}^{-2}$)^[22] 和华北山区白桦林的植被碳储量 (42.77 $t \cdot \text{hm}^{-2}$)^[23]; 其中, 在高等立地类型显著高于这两个地

区的植被碳储量 ($P < 0.05$), 而中等立地类型高于这两个地区的植被碳储量, 阳坡下部与这两个山区的植被碳储量基本一致。这说明立地类型对白桦林植被碳储量确实具有较大的影响, 故在评价各区域白桦林碳汇作用时应考虑其立地分异规律性。

3.2 立地对白桦林土壤碳储量的影响

本研究得到长白山天然白桦林的土壤碳储量在谷地、阳坡上部和阴坡中部最高, 阳坡中、下部与阴坡下部居中, 阴坡上部最低。至于谷地中下部土壤层碳密度相对较高, 可能主要是由于谷地平坦, 排水状况差, 厌氧呼吸形成较多泥炭所致^[22]; 而阳坡上部在中下部土壤层与阴坡中部在中上部土壤层碳密度相对较高以及阴坡上部在各土壤层碳密度均最低, 可能与坡位对土壤淋溶过程的响应机制不同有关 (如上坡位源区, 中下坡位汇区); 此外, 阴坡土壤碳储量相对较低还与阴坡土壤 (仅 0 ~ 40 cm) 相对

较薄有关。

本研究得到长白山天然白桦林土壤碳储量 $116.02 (66.71 \sim 158.51) \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 高于 Zhu^[12] 等得出该区平均土壤碳密度 ($69.7 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)。其中, 高等立地类型显著高于长白山地区的土壤碳储量 ($P < 0.05$), 中等立地类型高于长白山地区的土壤碳储量, 阴坡上部与该区土壤碳储量基本一致。这说明立地类型对白桦林土壤碳储量确实具有较大的影响, 故在评价各区域白桦林土壤碳储量时应考虑其立地分异规律性。

3.3 立地对白桦林生态系统碳储量的影响

本研究得到的长白山白桦林生态系统碳储量为 $182.73 (139.44 \sim 231.12) \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 与华北山区白桦林生态系统碳储量 ($187.08 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)^[23] 结论基本一致。但分别低于现有吉林省森林生态系统平均碳储量 ($225.30 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)^[24] 及 Zhu 等得出长白山原始林平均生态系统碳密度 ($236.8 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)^[12]。其中高等立地类型白桦林的生态系统碳储量与后两者相近, 高于前者; 中等立地类型的白桦林生态系统碳储量低于后者, 但与前者相近; 低等立地类型上的生态系统碳储量均低于前三者。这说明立地类型对白桦林生态系统碳储量确实具有较大的影响, 故在评价各区域白桦林生态系统碳储量时应考虑其立地分异规律性。

3.4 立地对白桦林植被净初级生产力与年净固碳量的影响

本研究得到长白山白桦林的植被净初级生产力与年净固碳量在阴坡上、中部最高, 阳坡上、下部与阴坡下部及谷地居中, 而阳坡中部最低。至于阳坡各坡位白桦林乔木层净初级生产力和年净固碳量相对较低可能与阳坡光照强烈及土壤干旱限制白桦生长有关, 确切的影响机制尚有待于深入系统的研究。

长白山天然白桦林植被净初级生产力 $7.44 (4.92 \sim 11.25) \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 与现有中国东北植被净初级生产力 ($6.0 \sim 14.3 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)^[25-26] 的研究结论基本一致, 阳坡上、中、下部 3 个立地类型略低于其下限值, 阴坡上、中、下部与谷地 4 个立地类型均高于其下限值, 但均低于其上限值; 其植被年净固碳量 $3.53 (2.32 \sim 5.32) \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 仅在阴坡上、中部高于中国陆地植被固碳量 ($4.9 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)^[27] 与全球平均植被固碳量 ($4.1 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)^[28], 而在阳坡各坡位、阴坡下部及谷地均低于二者。这说明长白山天然白桦林仅在阴坡

上、中部才具有相对较强的固碳能力, 而在阳坡各坡位、阴坡下部及谷地上的固碳能力均相对较弱, 故应开展增强其碳汇功能的相关研究。

参考文献:

- [1] 牟长城, 卢慧翠, 包旭, 等. 采伐干扰对大兴安岭落叶松-苔草沼泽植被碳储量的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(17): 5286-5298.
- [2] Thüing E, Kaufmann E. Increasing carbon sinks through forest management; a model-based comparison for Switzerland with its Eastern Plateau and Eastern Alps[J]. European Journal of Forest Research, 2010, 129(4): 563-572.
- [3] Schmid S, Thüing E, Kaufmann E, et al. Effect of forest management on future carbon pools and fluxes; A model comparison[J]. Forest Ecology and Management, 2006, 237(1): 65-82.
- [4] 范叶青, 周国模, 施拥军, 等. 地形条件对毛竹林分结构和植被碳储量的影响[J]. 林业科学, 2013, 49(11): 177-182.
- [5] Al Omary A. Effects of aspect and slope position on growth and nutritional status of planted Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) in a degraded land semi-arid areas of Jordan[J]. New Forests, 2011, 42(3): 285-300.
- [6] 史忠阁, 李存芳, 赵淑英. 大兴安岭南天然白桦生长规律研究[J]. 林业资源管理, 2014(1): 62-65.
- [7] 王鹏, 王石磊, 王庆成, 等. 帽儿山实验林场白桦适生立地条件[J]. 东北林业大学学报, 2010, 38(10): 9-11.
- [8] 范志强, 沈海龙, 王庆成, 等. 水曲柳幼林适生立地条件研究[J]. 林业科学, 2002, 38(2): 38-43.
- [9] 王向荣, 孙海龙, 余鑫, 等. 坡向和坡位对水曲柳中龄林生长的影响[J]. 山西农业大学学报: 自然科学版, 2011, 31(1): 30-34.
- [10] 于顺龙. 坡向、坡位对水曲柳中龄林生长与生物量分配的影响[J]. 内蒙古林业调查设计, 2009(1): 54-56.
- [11] Moser G, Leuschner C, Hertel D, et al. Elevation effects on the carbon budget of tropical mountain forests (S Ecuador): the role of the belowground compartment[J]. Global Change Biology, 2011, 17(6): 2211-2226.
- [12] Zhu B, Wang X, Fang J, et al. Altitudinal changes in carbon storage of temperate forests on Mt Changbai, Northeast China[J]. Journal of Plant Research, 2010, 123(4): 439-452.
- [13] 成向荣, 虞木奎, 吴统贵, 等. 立地条件对麻栎人工林碳储量的影响[J]. 生态环境学报, 2012, 21(10): 1674-1677.
- [14] 范叶青, 周国模, 施拥军, 等. 坡向坡位对毛竹林生物量与碳储量的影响[J]. 浙江农林大学学报, 2012, 29(3): 321-327.
- [15] 吴榜华, 臧润国, 李春阳. 天然次生杨桦林的结构、动态及经营[J]. 吉林林学院学报, 1993, 9(4): 19-27.
- [16] Wang C. Biomass allometric equations for 10 co-occurring tree species in Chinese temperate forests[J]. Forest Ecology and Management, 2006, 222(1): 9-16.
- [17] 牟长城, 庄宸, 韩阳瑞, 等. 透光抚育对长白山“栽针保阔”红松林植被碳储量影响[J]. 植物研究, 2014, 34(4): 529-536.

- [18] 杨金艳, 王传宽. 东北东部森林生态系统土壤碳贮量和碳通量[J]. 生态学报, 2005, 25(11): 2875-2882.
- [19] Mu C, Lu H, Wang B, et al. Short-term effects of harvesting on carbon storage of boreal *Larix gmelinii* - *Carex schmidtii* forested wetlands in Daxing'anling, northeast China[J]. Forest Ecology and Management, 2013, 293: 140-148.
- [20] 牟长城, 王 彪, 卢慧翠, 等. 大兴安岭天然沼泽湿地生态系统碳储量[J]. 生态学报, 2013, 33(16): 4956-4965.
- [21] 方精云, 沈泽昊, 崔海亭. 试论山地的生态特征及山地生态学的研究内容[J]. 生物多样性, 2004, 12(1): 10-19.
- [22] 闫 平. 帽山林场 4 类天然次生林碳储量研究[J]. 林业资源管理, 2006(4): 61-65.
- [23] 宋熙龙, 毕 君, 刘 峰, 等. 木兰林管局白桦次生林生物量与碳储量研究[J]. 北京林业大学学报, 2010, 32(6): 33-36.
- [24] 王新闻, 齐 光, 于大炮, 等. 吉林省森林生态系统的碳储量, 碳密度及其分布[J]. 应用生态学报, 2011, 22(8): 2013-2020.
- [25] 周广胜, 张新时. 自然植被净第一性生产力模型初探[J]. 植物生态学报, 1995, 19(3): 193-200.
- [26] 毛德华, 王宗明, 罗 玲, 等. 1982—2009 年东北多年冻土区植被净初级生产力动态及其对全球变化的响应[J]. 应用生态学报, 2012, 23(6): 1511-1519.
- [27] 何 浩, 潘耀忠, 朱文泉, 等. 中国陆地生态系统服务价值测量[J]. 应用生态学报, 2005, 16(6): 1122-1127.
- [28] 李银鹏, 季劲钧. 全球陆地生态系统与大气之间碳交换的模拟研究[J]. 地理学报, 2001, 56(4): 379-389.

《生物质化学工程》征订启事

《生物质化学工程》(双月刊)是由国家林业局主管、中国林科院林产化学工业研究所主办的,面向国内外公开发行的全国生物质化工行业的技术类刊物。A4 开本,56 页,邮发代号 28-205,国内年订价 60.00 元,国外发行代号 BM 2743,国外年定价 60 美元,国内刊号 CN 32-1768/S,ISSN 1673-5854。《生物质化学工程》是美国《化学文摘》(CA)收录期刊、《乌利希国际期刊指南》收录、RCCSE 中国核心学术期刊(A)、中国农业核心期刊、“中国期刊全文数据库”、“中文科技期刊数据库”、“万方数据—数字化期刊群”、“CEPS 中文电子期刊服务”全文收录期刊、“中国学术期刊综合评价数据库”统计源期刊、《CAJ-CD 规范》执行优秀期刊。

报道范围 可再生的木质和非木质生物质资源的化学加工利用,包括生物质能源、生物质化学品、生物质新材料、生物质天然活性成分和制浆造纸等。主要报道内容为松脂化学、生物质能源化学、生物质炭材料、生物基功能高分子材料、胶黏剂化学、森林植物资源提取物化学利用、环境保护工程、木材制浆造纸为主的林纸一体化和林产化学工程设备研究设计等方面的最新研究成果。

主要栏目 研究报告、综述评论、行业热点、国内外信息等。

读者对象 适于从事生物质化学工业、林产化学工业、林业、农业、森工、能源、轻工、化工、环保、医药、食品、土产、商检、外贸等行业从事科研、教学、生产、经营、设计工作等相关人士阅读。

欢迎积极投稿、踊跃订阅或来电来函联系广告业务!

订阅办法 邮局发行,邮发代号 28-205,单月月底出版。每册定价 10.00 元,全年 60.00 元。

地址:210042 江苏省南京市锁金五村 16 号 林化所内

电话:(025)85482492 **传真:**(025)85482492

http://www.bce.ac.cn **E-mail:bec@vip.613.com**