

文章编号: 1001-1498(2008)05-0635-05

江淮地区引种楸树光合生理特性的比较研究

孙 焜^{1,2}, 刘洪剑³, 傅玉兰^{2*}, 李宏开²

(1. 国际竹藤网络中心, 北京 100102; 2. 安徽农业大学林学与园林学院, 安徽 合肥 230036;

3. 安徽省林业科学研究院, 安徽 合肥 230031)

摘要:对江淮地区引种的 4 种楸树生长初期的光合生理特性研究结果表明,长果楸、密毛灰楸、灰楸和光叶楸叶片的光饱和点均为 $1\ 200\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 光补偿点分别为 53.34、64.82、66.74、98.91 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。光合表量子产量 (AQY) 分别为 0.427、0.393、0.354、0.349。当 PAR = 1 000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时, 4 种楸树叶片的 P_n 、 T_r 、 C_s 值, 长果楸最高, 灰楸和密毛灰楸次之, 光叶楸最低。随着 PAR 的增加, 4 种楸树叶片 C_i 均呈逐渐下降趋势, 相同的光照强度下, 长果楸叶片 C_i 最低, 灰楸和密毛灰楸次之, 光叶楸叶片的 C_i 最大。同时, 对生态因子的相关分析可以得出, 长果楸具有较高的光合特性, 很合适长江以北至淮河以南等地区大面积栽植。

关键词: 楸树; 光合特性; 生态因素

中图分类号: S685

文献标识码: A

A Comparison Study on the Photosynthesis Characteristic for Introduction of *Catalpa* in Jianghuai Area

SUN Jia^{1,2}, LIU Hong-jian³, FU Yu-lan², LI Hong-kai²

(1. International Centre for Bamboo and Rattan, Beijing 100102, China; 2. School of Forestry and Landscape Architecture,

Anhui Agricultural University, Hefei 230036, Anhui, China; 3. Forestry Academy of Anhui Province, Heifei 230031, Anhui, China)

Abstract: The photosynthetic characteristics for 4 cultivars of *Catalpa* were studied in field on typical sunny days. The results as follows: (1) For Changguoqiu, Mmaohuiqiu, *C. fargesii* and Guangyeqiu, their light saturation point was $1\ 200\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$; And the compensation point of photosynthesis varied, which were 53.34, 64.82, 66.74 and 98.91 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, respectively; (2) The apparent quantum yields (AQY) were 0.427, 0.393, 0.354 and 0.349, respectively. For the 4 cultivars of *Catalpa*, Changguoqiu had the highest value of P_n , T_r and C_s , and *C. fargesii* and Mmaohuiqiu were the second and the Guangyeqiu were the lowest when photosynthetic active radiation (PAR) was higher than $1\ 000\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Meanwhile, The value of C_i in leaves of the 4 cultivars of *Catalpa* declined gradually. Changguoqiu was the lowest and the highest in Guangyeqiu. (3) Through regression analysis of the ecological factors, the authors obtained that Changguoqiu had the highest photosynthetic characteristics, and it would provide fundamental information for building of Changguoqiu district between Yangtze River to Huaihe River.

Key words: *Catalpa* spp.; photosynthetic characteristics; ecological factors

楸树 (*Catalpa* spp.) 属于紫葳科 (Bignoniaceae), 梓树属 (*Catalpa* L.)。楸树在我国已有 3 000 多年的栽培历史, 是著名的园林观赏树种和优质珍贵用材树种, 自古就有“木王”之称^[1]。

收稿日期: 2006-09-03

基金项目: 安徽省森林生态网络体系一线的研究与示范 (2002AB516A16-04)

作者简介: 孙焜 (1981—), 男, 山东青岛人, 博士研究生。

* 通讯作者: 傅玉兰 (1944—), 女, 北京人, 安徽农业大学林学与园林学院教授, 花卉研究室主任, 硕士生导师. fuyualan@ahau.edu.cn

楸树在适宜的条件下生长十分迅速,有隔音降噪、吸尘滤毒、净化空气等作用,我国许多城市都选用楸树作为行道树^[2]。从 70 年代开始,楸树繁殖的研究取得了突破性的成果。80 年代楸树组织培养方法试验取得成功;在楸树的扦插繁殖方面也取得了进展,显著地提高了扦插的生根率^[3-4]。目前我国对楸树的研究依然十分重视,先后有大量的文章发表,但主要集中在楸树的繁殖方法、资源收集、新种选育等方面。由于楸树一般生长 3 至 4 a 后进入速生期,其移植成活率最高,所以本试验通过测定密毛灰楸、光叶楸、灰楸和长果楸 4 个园林中常用的楸树种 2 a 的光合生理特性,探讨了楸树的光合生理特性与其生长的生态因子之间的关系,为进一步推广楸树的大面积栽植提供理论依据和科学方法。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料选用安徽省滁州市林科所苗圃 2003 年从河南引种成功的 3 年生的灰楸 (*Catalpa fargesii* Bureau)、密毛灰楸 (*Catalpa* sp.)、光叶楸 (*Catalpa* sp.) 和长果楸 (*Catalpa* sp.) 4 种楸树。栽植株行距为 2.5 m × 3 m,立地条件一致,密度相同。2005 年其高度范围 1.7~2.4 m,地径约 2 cm,2006 年其高度范围 2.2~2.9 m,地径约 3 cm。每种楸树随机取 3 株挂牌标记,重复 3 次,共 12 株。

1.2 测定方法

选取树冠外围中上部无病虫害、大小基本一致的当年生成熟叶片。分别在 2005、2006 年 5 月下旬选取晴天中午,用美国产 Licor-6400 便携式光合作用测定系统进行活体测定,取其 2 a 的均值。利用内置的红蓝光源 (LED Light Source) 能在 0~2 000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 范围内调控叶室的光合有效辐射,测定在不同光合有效辐射下叶片的净光合速率 (P_n)、蒸腾速率 (T_r)、气孔导度 (C_s)、胞间 CO_2 浓度 (C_i),采用开放式气路,在进行光响应曲线测定时,光合有效辐射强度 (PAR) 设定梯度为: 0、50、100、200、500、800、1 000、1 200、1 400、1 600、1 800、2 000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,叶面积 6 cm^2 ,空气温度 (28 ± 1),叶片温度 (29 ± 1),空气相对湿度 33%~35%,空气 CO_2 含量 $340\sim 360\ \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 。根据光合有效辐射—净光合速率曲线计算出光补偿点 (LCP ,

$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)、光饱和点 (LSP , $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)、最大净光合速率等重要参数。光合有效辐射—净光合速率曲线的非线性拟合方程按 Prado 和 Moraes (1997) 的方法^[5]:

$$P_n = P_1 [1 - e^{-P_2 (PAR - P_3)}]$$

其中, P_1 为饱和光强时的净光合速率; P_2 为拟合经验常数; P_n 是实际测定的净光合速率; PAR 是光合有效辐射; P_3 是光补偿点; e 为自然对数。拟合时, P_1 为初始值可设为实际测量时的最大净光合速率, P_2 初始值为 0.000 01, P_3 初始值为 20, 然后进行多次拟合直到 P_1 、 P_2 和 P_3 的值不再变化为止。根据拟合方程, 计算净光合速率为最大净光合速率 90% 时的光强, 即饱和光强。

光合表观量子效率 (AQY) 测定根据在低光合有效辐射下, 净光合速率—光合有效辐射的模拟方程, 其斜率即为量子效率。每个数据重复测定 6 次, 以其平均值作为每株树叶片的测定结果。

2 结果与分析

2.1 不同楸树叶片净光合速率 (P_n) 的变化

光强是影响光合作用的最主要因子。图 1 表明, 随着光合有效辐射 (PAR) 的增加, 楸树叶片 P_n 值增加, 但当 PAR 增加到一定程度时, P_n 值不再增加。当 PAR 1 000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时, 4 种楸树叶片的 P_n 值差异开始增大, 长果楸和密毛灰楸叶片 P_n 值增幅最大, 灰楸次之, 光叶楸的 P_n 值增加不明显; 在相同 PAR 时, 长果楸的 P_n 值最高, 光叶楸 P_n 值最低。当 PAR 为 1 200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时, 4 种楸树叶片 P_n 值均达到最高, 4 种楸树具有相同的光饱和点 (表 1)。

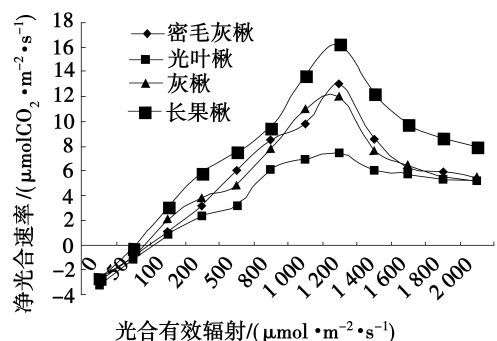


图 1 不同楸树叶片净光合速率的变化

表 1 4种楸树光合有效辐射——净光合速率曲线的非线性拟合结果

楸树品种	最大净光合速率	光补偿点	光饱和点
长果楸	16.30	53.34	1 200
灰楸	12.00	66.74	1 200
密毛灰楸	13.06	64.82	1 200
光叶楸	7.50	98.91	1 200

当光辐射强度在 $200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下范围内, P_n 与光强变化的关系, 可用以下方程描述, 即

长果楸 $Y = -0.54 + 0.427X$, $R = 0.83$

密毛灰楸 $Y = -0.65 + 0.393X$, $R = 0.86$

灰楸 $Y = -0.68 + 0.354X$, $R = 0.81$

光叶楸 $Y = -0.99 + 0.349X$, $R = 0.84$

式中 Y 为净光合速率; X 为光辐射强度。上式表明, 光辐射强度在 $200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下时, 光合速率与光强的关系呈一定比例, 是一种线性关系, 光合表现量子效率 (AQY) 分别为 0.427、0.393、0.354、0.349。

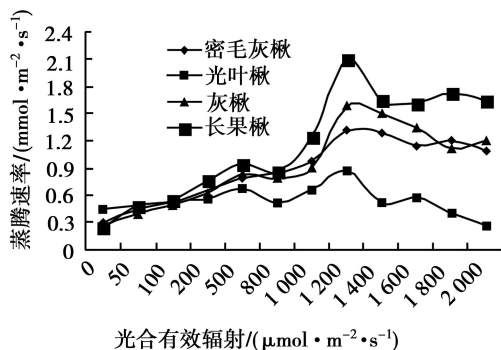


图 2 不同楸树叶片蒸腾速率的变化

2.2 不同楸树叶片蒸腾速率 (T_r) 的变化

植物的蒸腾速率除受土壤水分的影响外, 还受光合有效辐射强弱的影响, 通常随着光照的增强而增强。从图 2 可以看出, 随着 PAR 的增加, 长果楸、密毛灰楸和灰楸叶片的 T_r 呈增加趋势, 光叶楸的变化较小。当 PAR $1\ 000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, 4 种楸树叶片的 T_r 差异增大, 长果楸叶片具有较高的 T_r , 灰楸和密毛灰楸次之, 光叶楸的 T_r 较低。当光合有效辐射为 $1\ 200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, 4 种楸树叶片的 T_r 均达到最大值, 分别为 2.10 、 1.58 、 1.32 、 $0.87 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; 此后, 随着 PAR 的进一步增加, 长果楸叶片的 T_r 下降为 $2.10 \sim 1.64 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 灰楸和密毛灰楸 T_r 下降为 $1.58 \sim 1.20 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $1.32 \sim 1.09 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 光叶楸叶片的 T_r 为 $0.87 \sim 0.26 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

2.3 不同楸树叶片气孔导度 (C_s) 的变化

图 3 表明, 当 PAR $1\ 000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, 4 种楸树叶片的 C_s 差异不大, 而当 PAR $> 1\ 000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, 4 种楸树叶片的 C_s 差异明显: 长果楸叶片 C_s 呈显著增加趋势, 当 PAR 为 $1\ 200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时达最高值; 而其它 3 种楸树叶片 C_s 变化较平稳, 但密毛灰楸和灰楸叶片的 C_s 高于光叶楸。

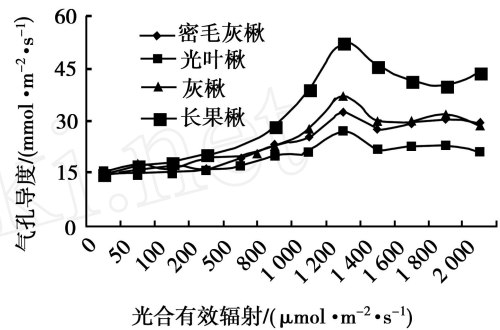


图 3 不同楸树叶片气孔导度的变化

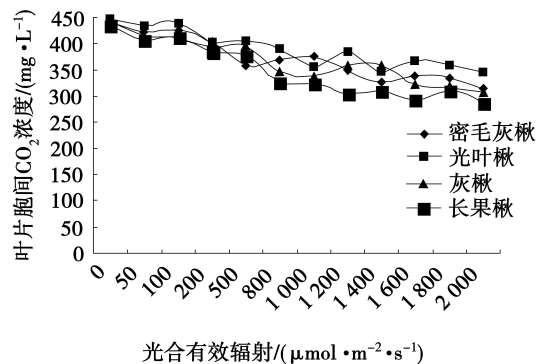


图 4 不同楸树品种叶片胞间 CO_2 浓度的变化

2.4 不同楸树叶片胞间 CO_2 (C_i) 的变化

由图 4 可知, 随着 PAR 的增加, 4 种楸树叶片 C_i 呈逐渐下降趋势, 且长果楸叶片的 C_i 下降幅度大, 光叶楸下降幅度小。相同的光照强度下, 长果楸叶片的 C_i 最低, 密毛灰楸和灰楸叶片的 C_i 次之, 光叶楸叶片的 C_i 最高。

2.5 光合速率与生态影响因素的回归分析

叶片光合速率与生理生态因子的综合关系, 可以用多元回归方程表达。利用测定的 4 种楸树当年生叶片的光合速率及其影响因子的数据, 以 Y 表示光合速率对气孔导度 $Cond (X_{Cond})$ 、细胞间隙 CO_2 浓度 $C_i (X_{C_i})$ 、大气温度 $T_{air} (X_{T_{air}})$ 、叶片温度 $T_{leaf} (X_{T_{leaf}})$ 、相对湿度 $RH (X_{RH})$ 及光合有效辐射 PAR (X_{PAR}) 进行多元逐步回归分析, 得到光合速率与环境因子之间的回归方程 (表 2)。

表 2 4种楸树光合速率与环境因子之间的回归分析

树种	多元回归方程	复相关系数	偏相关系数
长果楸	$Y = 8.24 + 8.32X_{Cond} - 0.03X_{Ci} + 1.79X_{Tair} - 0.83X_{Tleaf} + 12.2X_{RH} - 0.003X_{PAR}$	$R = 0.995$	$r_{Cond} = 0.79$ $r_{Ci} = 0.36$ $r_{Ta} = 0.65$ $r_{RH} = 0.94$ $r_{PAR} = 0.82$
密毛灰楸	$Y = 3.91 + 3.59X_{Cond} - 0.05X_{Ci} + 7.93X_{Tair} - 0.24X_{Tleaf} + 9.02X_{RH} - 0.567X_{PAR}$	$R = 0.97$	$r_{Cond} = 0.27$ $r_{Ci} = 0.66$ $r_{Ta} = 0.85$ $r_{RH} = 0.68$ $r_{PAR} = 0.34$
灰楸	$Y = 5.63 + 6.28X_{Cond} + 0.13X_{Ci} + 8.31X_{Tair} - 0.68X_{Tleaf} + 7.43X_{RH} - 2.856X_{PAR}$	$R = 0.98$	$r_{Cond} = 0.42$ $r_{Ci} = 0.31$ $r_{Ta} = 0.98$ $r_{RH} = -0.43$ $r_{PAR} = 0.59$
光叶楸	$Y = 1.59 + 2.05X_{Ci} + 1.79X_{Tair} + 0.83X_{Tleaf} + 5.92X_{RH} - 8.63X_{PAR}$	$R = 0.99$	$r_{Ci} = 0.46$ $r_{Ta} = -0.65$ $r_{RH} = 0.23$ $r_{PAR} = 0.79$

光合速率与影响因子之间的相关系数均比较高,表明叶片光合速率与影响因子之间关系紧密,但各因子对光合速率的影响程度不同,其影响程度可用偏相关分析获得^[6]。偏相关系数表示在排除了其他变量影响后,即其他因子假定处在暂时不变的情况下,某一因子与光合速率之间的相关程度。因此可以按偏相关系数的大小对影响因子进行排序,用以表示各因子对光合速率的影响程度。

因此,从上述各回归方程可以看出,长果楸光合速率的最大影响因素是 RH ,其次是 PAR 等。密毛灰楸光合速率的最大影响因素是 Ta ,其次是 RH 等。灰楸光合速率的最大影响因素是 Ta ,其次是 PAR 等。光叶楸光合速率的最大影响因素是 PAR ,其次是 Ci 。

3 结论

有关植物光合作用的研究已有大量报道^[7-10],但对楸树光合特性的研究较少。试验中 4 种楸树叶片的 Pn 值随 PAR 的增加,变化情况存在差异:当 PAR 较高时,长果楸叶片 Pn 值及增幅最大,密毛灰楸和灰楸次之,光叶楸的 Pn 值最低且增幅不明显。因此, PAR 对不同种楸树植株叶片的 Pn 有较大影响。4 种楸树叶片的 $光补偿点$ 表现为:长果楸 < 密毛灰楸 < 灰楸 < 光叶楸,光补偿点高,可部分说明叶肉细胞光合活性低。 AQY 表示光能的转化效率,长果楸叶片 AQY 值高,说明其叶片光能转化效率高。楸树叶片的 $T_k C_s$ 的变化与 Pn 相似,在较高 PAR

时,长果楸叶片的 $T_k C_s$ 较高,密毛灰楸和灰楸次之,光叶楸的较小;而 Ci 的变化与 Pn 、 Tr 及 C_s 的变化相反,随 PAR 的增加, Ci 下降,且表现为:长果楸 < 密毛灰楸和灰楸 < 光叶楸。这表明长果楸的总体光合性能优于其他 3 种。

4 讨论

(1) 对 4 种楸树光合速率与生态的影响因子分析可以看到,4 种楸树受生态因子的影响不同,长果楸在长江以北至淮河以南与其他种楸树相比是一种光合性能高,生长快的楸树,而且该地域相对湿度相对合适,值得大力引种,并建议在长江以北至淮河以南等地区城市绿化中推广应用。

(2) 目前,许多城市在园林中使用速生楸品种做为园林绿化树种,但是由于速生楸生长速度过快,寿命短,不能保证园林绿化成果的长效性与稳定性,因而在园林绿化中大量使用速生楸是不适宜的。楸树在我国已经有几千年的栽培应用历史,保存有丰富的种质资源,所以笔者建议除大力发展材用楸树速生种外,在园林绿化中应加大对当地楸树原生种的应用。

参考文献:

- [1] 郭明. 中国园林瑰宝——楸树 [J]. 中国林业, 2001, 12(1): 21
- [2] 吴承荣, 刘燕, 于华冰, 等. 楸树的繁殖与园林应用 [J]. 河北林业科技, 2004, 6(3): 41
- [3] 潘庆凯, 康平生. 楸树 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1988: 151 - 155

- [4] 郭从俭. 楸树栽培 [M]. 北京:中国林业出版社, 1988: 27 - 29
- [5] Prado C A, Moraes J V. Photosynthetic capacity and specific leaf mass in twenty woody species of cerrado vegetation under field conditions [J]. Photosynthetica, 1997, 33 (1): 103 - 112
- [6] Farquhar GD, Sharkey TD. Stomatal conductance and photosynthesis [J]. Ann Rev Plant Physiol, 1982, 33: 491 - 543
- [7] 李双顺, 孙桂芬, 桂林珠, 等. 四种番木瓜光合特性比较 [J]. 园艺学报, 1985, 12 (1): 1 - 5
- [8] 冷平生, 杨晓红, 胡 悦, 等. 5种园林树木的光合蒸腾特性的研究 [J]. 北京农学院学报, 2000, 15 (4): 13 - 18
- [9] 侯丽君, 吴玉华, 杨德民. 不同立地长白落叶松净光合特征的研究 [J]. 防护林科技, 2000 (2): 24 - 27
- [10] 燕丽萍, 金 芳, 郑平生. 四种草莓光合特性的研究 [J]. 甘肃农业大学学报, 2004, 12 (6): 620 - 624
- [11] 李六林, 杨佩芳, 田彩芳, 等. 树莓光合特性的研究 [J]. 园艺学报, 2003, 30 (3): 314 - 316
- [12] 卢雪琴, 夏汉平, 彭长连. 淹水对 5种禾本科植物光合特性的影响 [J]. 福建林学院学报, 2004, 24 (4): 374 - 378

《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,期订价 6.00元,邮发代号 28 - 205,国内刊号 CN32 - 1768/S, ISSN 1673 - 5854。《生物质化学工程》将突出技术类期刊的特点,注重稿件的时效性。是美国《化学文摘》(CA)收录期刊、“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 统计刊源期刊”、《CAJ - CD规范》执行优秀期刊、全国农业核心期刊。

办刊宗旨 认真执行国家的有关方针政策,为经济建设服务、为促进我国生物质化工产业的发展服务。

办刊方针 理论与实践相结合,普及和提高相结合,引导技术潮流,促进行业发展。

报道内容 可再生的木质和非木质生物质资源的化学加工与利用,包括生物质资源的化学转化、热转化、热化学转化和生物转化及活性炭,木材化学和制浆造纸,生物质原料水解,松脂及松香、松节油,植物多酚,林产香料、油脂、药物和生物活性物质,木工胶黏剂,树木寄生产物以及其他森林天然产物等方面的最新研究成果。

主要栏目 研究报告、综述评论、专题讲座、技改园地、国内简讯等。

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、踊跃订阅或来人来函联系广告业务!

订阅办法 邮局发行,邮发代号 28 - 205,单月 25日出版。每册定价 6.00元,全年 36.00元。亦可直接向本刊编辑部订阅。

地址:210042 南京市锁金五村 16号 林产化工研究所内

银行信汇 户名:中国林业科学研究院林产化学工业研究所 账号:4301012509001028549

开户行:工商银行南京板仓分理处 电话:(025)85482492 传真:(025)85482493

http://www.bce.ac.cn E-mail:lchg@china.jouma.net.cn