

成土母岩和条龄对青檀檀皮质量的影响

方升佐<sup>1</sup> 崔同林<sup>1</sup> 虞木奎<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 南京林业大学森林资源与环境学院 <sup>2</sup> 安徽省林业科学研究院)

**摘要:**宣纸被誉为千年寿纸,国之瑰宝,但檀皮这一独特的宣纸原料质量参差不齐,影响了宣纸的生产规模和产品质量.该研究分析了生长在不同立地环境和不同条龄的檀皮质量差异.研究表明,生长在不同母岩发育土壤上和不同条龄的檀皮在基本密度、纤维长、纤维宽、纤维素含量、木素含量及聚戊糖含量上存在明显差异.其中,檀皮基本密度在 0.21~0.36 g/cm<sup>3</sup> 之间;檀皮纤维长度、宽度和平均长宽比值分别在 2 181~2 730 μm、9.8~12.0 μm 和 184.8~250.5 之间;檀皮纤维素含量、木素含量和聚戊糖含量分别在 34.0%~41.0%、9.3%~11.5% 和 8.0%~9.8% 之间.总体上以生长在石灰岩发育土壤上的 3 年生檀皮质量性状最优.

**关键词:**青檀,立地条件,萌条年龄,基本密度,纤维形态,纤维素,木素,聚戊糖含量

**中图分类号:**S781.48 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-1522(2007)02-0122-06

FANG Sheng-zuo<sup>1</sup>; CUI Tong-lin<sup>1</sup>; YU Mu-kui<sup>2</sup>. **Effects of soil-forming rocks and sprout ages on the bark quality of *Pteroceltis tatarinowii*.** *Journal of Beijing Forestry University* (2007) **29**(2) 122-127 [Ch, 30 ref.]

<sup>1</sup> College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, 210037, P. R. China;

<sup>2</sup> Forestry Academy of Anhui Province, Hefei, 230031, P. R. China.

The Xuan paper (rice paper), which is white, soft, durable and non-absorbent, is made in an 18-step process from the bark of *Pteroceltis tatarinowii* and rice straw, and it is entitled as “the king of all kinds of papers”. However, the variation of bark quality significantly affects the production size and quality of Xuan paper in China. Based on the investigation, the effects of soil-forming rocks and sprout ages on the bark quality of *P. tatarinowii* were studied in this paper. The results indicated that significant differences in basic density, fiber length, fiber width, ratio of fiber length to width, cellulose content, lignin content and pentosan content were observed in the barks growing on various soil-forming rocks and in the barks with different sprout ages ( $\alpha=0.05$ ). Among the above, the basic density of bark ranged from 0.21 to 0.36 g/cm<sup>3</sup>; fiber length, fiber width, and the ratio of fiber length to width for the bark were 2 181-2 730 μm, 9.8-12.0 μm and 184.8-250.5, respectively; while the cellulose content, lignin content and pentosan content were 34.0%-41.0%, 9.3%-11.5% and 8.0%-9.8%, respectively. Generally, the bark growing on the soil differentiated from limestone and harvested when the sprout age is three years old is optimal for making Xuan paper.

**Key words** *Pteroceltis tatarinowii*, site conditions, sprout age, basic density, fiber shape, cellulose, lignin, pentosan content

青檀(*Pteroceltis tatarinowii*)为榆科青檀属落叶乔木,是我国特有的纤维树种和三级重点保护植物.建国以来,我国宣纸生产规模发展很快,从 1949 年的 32 t/a 到 2005 年的 5 000 t/a,产量增加了 150 多倍.截止 2005 年仅安徽泾县就有宣纸生产厂家 125 家,产品品种 100 多个,年利税总额达 5 600 万元,年出口创汇达 800 万美元<sup>[1]</sup>.但是,檀皮这一独特的宣纸原料日益不能满足造纸工业的要求,檀皮质量参

收稿日期:2006-04-21  
http://journal.bjfu.edu.cn  
基金项目:国家自然科学基金资助项目(39970608).  
第一作者:方升佐,教授,博士生导师.主要研究方向:人工林定向培育及木本能源植物研究.电话:025-85427345 Email: fangsz@njfu.edu.cn  
地址:210037 南京林业大学森林资源与环境学院.

差不齐,影响了宣纸的生产规模和产品质量.刘仁庆等对宣纸的耐折度、撕裂度<sup>[2]</sup>及润墨性<sup>[3]</sup>等的研究表明,宣纸的润墨性、耐久性与檀皮质量有关,特别是润墨性与青檀皮细胞壁上皱纹间积留的CaCO<sub>3</sub>有关.据此刘仁庆等认为,深入研究青檀的栽培、生长环境和砍伐技术,对于宣纸生产发展具有重要意义<sup>[4]</sup>.近年来,围绕宣纸原料林培育,许多学者对青檀种子的休眠机理<sup>[5]</sup>、种子活力<sup>[6]</sup>、1年生播种苗生长发育规律和育苗方式<sup>[7-8]</sup>、生理特性<sup>[9-10]</sup>、叶的营养成分<sup>[11]</sup>、立地(环境)条件对青檀人工林生物量和檀皮产量<sup>[12-13]</sup>以及檀皮中矿质元素含量的影响<sup>[14-15]</sup>、经营措施对青檀人工林生物量和檀皮产量的影响<sup>[16]</sup>、青檀的综合开发利用和青檀林结构特征等<sup>[17-18]</sup>作了较为系统的研究.但关于青檀人工林檀皮质量方面的研究涉及较少,仅李正理等探讨了青檀各年枝韧皮纤维的解剖比较<sup>[19]</sup>、高慧等对青檀树枝制浆性能进行了初步研究<sup>[20]</sup>、洪香香等研究了Ca<sup>2+</sup>浓度对檀皮质量的影响<sup>[21]</sup>、王明安等分析了青檀树皮中的化学成份<sup>[22]</sup>.虽然不少研究认为,宣纸性能可能与檀皮的质量有关<sup>[2-4]</sup>,然而迄今尚未见直接的研究报道.本研究分析了生长在不同立地环境和不同条龄的檀皮质量差异,旨在为今后青檀人工林经营、管理和发展提供理论依据,从而保护和发展宣纸这一国宝.

1 材料与方法

1.1 材料来源

本研究选择立地因子中的成土母岩和萌条年龄(檀皮年龄)两个因素,在皖南泾县境内的北贡、中村、苏红等乡镇的青檀人工林中选设标准地,取样分析檀皮的质量.其中成土母岩分3种类型,分别选取海拔高度、坡度、坡向基本相似的石灰岩、板岩、片麻岩发育土壤上生长的3年生檀皮;萌条年龄分5种水平,即取在石灰岩土壤上生长的1~5年生檀皮.每个因素均重复3次(即分别从3块标准地上取样),样品带回实验室分析檀皮的有关性状.

1.2 测定方法

1)基本密度测定:采用饱和含水量法<sup>[23]</sup>.将檀皮试样按长宽切成20 mm×5 mm大小,用蒸馏水浸泡15 d,测其饱和含水率时重量,然后在105℃下烘干至恒重测其绝干重量.按式(1)计算:

基本密度 = 1/[ (样品湿重/样品绝对干重) - 0.346 ] (1)

2)纤维形态测定:将青檀韧皮部按长宽切成30 mm×2 mm大小,放在水中多次煮沸,使试样条下沉.然后将体积比为1:1的冰醋酸与过氧化氢(30%

~35%)溶液及试样放入带螺口盖的耐热塑料瓶中,并在60℃温度下的保温箱中浸泡试样约30~48 h,使试样变白、纤维分散.分散好的试样用水冲洗至无酸性,再用番红试剂染色,制成0.05%浓度的纤维悬浊液.用滴管吸取悬浊液3~4滴,置于载玻片上,制成纤维分散均匀的纤维切片,然后用DT2000生物显微镜数码成像系统测定.每个样品纤维长测定50根,纤维宽测定30根.

3)纤维素含量测定:采用硝酸-乙醇法测定纤维素含量<sup>[23]</sup>.

4)木素含量测定:用硫酸法测定酸不溶木素(即克拉松木素)含量<sup>[23]</sup>,其中用灼烧法测酸不溶木素残渣的灰分质量;用紫外分光光度法测定酸溶木素含量.用3%硫酸溶液进行稀释,其稀释倍数以保证吸收值在0.2~0.7范围内为宜(用紫外分光光度计测量波长205 nm处的紫外光吸收值).用3%硫酸溶液做空白试验.滤液中的酸溶木素含量(B, g/L),按式(2)计算:

B = A / 110 · D (2)

式中, A 为吸收值; D 为滤液的稀释倍数,以 V<sub>D</sub>/V<sub>0</sub>表示,其中 V<sub>D</sub> 为稀释后滤液的体积(mL), V<sub>0</sub> 为原滤液的体积(mL),未稀释溶液 D=1; 110 为吸光系数, L/(g·cm),该数值由不同原料和纸浆的平均值得.

5)聚戊糖含量测定:采用二溴化法<sup>[23]</sup>.按式(3)计算:

X = (V<sub>1</sub> - V<sub>2</sub>) c × 0.048 × 500 / 200 m × 100% (3)

式中, X 为糖醛含量, %; V<sub>1</sub> 为空白试验所耗用的0.1 mol/L Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 标准溶液体积, mL; V<sub>2</sub> 为试样所耗用的0.1 mol/L Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 标准溶液体积, mL; c 为Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 标准溶液浓度, mol/l; m 为试样绝干质量, g; 0.048 为与1.0 mL Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 标准溶液相当的糠醛质量, g.

Y = KX (4)

式中, Y 为聚戊糖含量, %; K 为系数,非木材植物纤维试样 K=1.38.

1.3 数据分析

采用单因素方差分析比较同一因素下不同水平的差异性,并应用综合坐标法分别进行综合评定.

2 结果与分析

2.1 成土母岩和条龄对檀皮基本密度

不同成土母岩和条龄的檀皮基本密度存在差异(图1).方差分析表明,萌条年龄对檀皮基本密度的影响达到显著水平(α=0.05),1年生檀皮基本密度

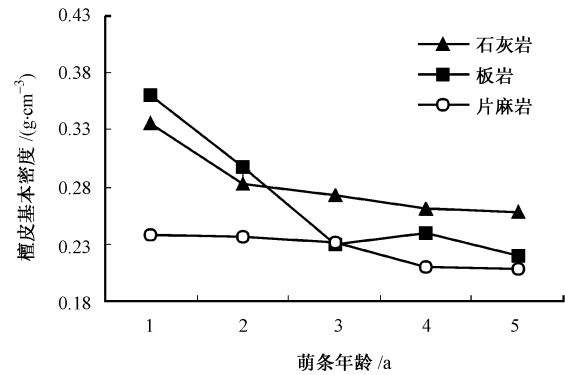


图 1 成土母岩和条龄对檀皮基本密度的影响  
FIGURE 1 Effects of soil-forming rocks and sprout ages on the basic density of bark

显著高于其他 4 个年龄段,2 年生檀皮基本密度显著高于 3~5 年生,而 3~5 年生檀皮基本密度差异不显著.3 种成土母岩土壤上 1 年生到 5 年生的平均檀皮密度分别为 0.31、0.27、0.24、0.25 和 0.23 g/cm<sup>3</sup>.

表 1 成土母岩和萌条年龄对檀皮纤维形态的影响

μm

TABLE 1 Effects of soil-forming rocks and sprout ages on the fiber shape of bark

|       | 成土母岩 | 萌条年龄/a     |             |            |             |              | 平均值        |
|-------|------|------------|-------------|------------|-------------|--------------|------------|
|       |      | 1          | 2           | 3          | 4           | 5            |            |
| 檀皮纤维长 | 石灰岩  | 2 266±67 b | 2 351±121 b | 2 730±66 a | 2 744±22 a  | 2 716±35 a   | 2 561.4 a  |
|       | 板 岩  | 2 285±43 b | 2 306±117 b | 2 555±91 a | 2 513±49 a  | 2 517±21 a   | 2 435.2 ab |
|       | 片麻岩  | 2 181±79 b | 2 261±50 b  | 2 445±74 a | 2 465±70 a  | 2 436±35 a   | 2 357.6 b  |
|       | 平均值  | 2 244.0 b  | 2 306.0 b   | 2 576.7 a  | 2 574.0 a   | 2 556.3 a    |            |
| 檀皮纤维宽 | 石灰岩  | 11.3±0.2   | 11.1±0.9    | 10.9±0.3   | 11.1±1.2    | 10.0±0.6     | 10.87      |
|       | 板 岩  | 12.0±1.3 a | 11.6±0.1 ab | 10.0±0.7 c | 10.4±0.6 bc | 11.1±0.6 abc | 11.01      |
|       | 片麻岩  | 11.8±1.2   | 10.4±0.5    | 9.8±0.5    | 10.3±1.0    | 9.9±0.5      | 10.44      |
|       | 平均值  | 11.69 a    | 11.02 a     | 10.24 b    | 10.60 ab    | 10.32 b      |            |

注:表中数据后的字母表示 Duncan 多重比较结果(α=0.05),字母相同表示差异不显著,字母不相同表示差异显著,下同.

增加而增长,3 年后趋于稳定.3 年生檀皮的纤维长度与 4、5 年檀皮不存在显著差异,但与 1、2 年檀皮存在显著差异(α=0.05),其平均纤维长比 1、2 年檀皮分别高 12.9%和 10.5%.不同成土母岩上生长的檀皮平均纤维长存在显著差异(α=0.05),其基本趋势是石灰岩>板岩 >片麻岩.

方差分析表明,不同成土母岩上生长的檀皮平均纤维宽虽有差异但未达到显著水平(α=0.05),其基本趋势是板岩>石灰岩>片麻岩;不同萌条年龄的檀皮平均纤维宽存在显著差异,3 种母岩发育土壤上的平均纤维宽度以 1 年生檀皮最大,2 年生次之,3 年生以后基本保持稳定,其中 1 年生檀皮的平均纤维宽度比 3 年生高出约 14.2%.上述结果说明成土母岩对檀皮平均纤维宽影响不大,而萌条年龄对檀皮平均纤维宽影响较大.

纤维长宽比的分析结果表明,1~5 年生檀皮的平均长宽比(3 种立地的平均值)分别为 192.0、209.3、251.6、242.8 和 247.7,与檀皮纤维长度的变

化趋势基本一致.3 种母岩发育土壤上的平均纤维长宽比(1~5 年生檀皮的平均值)是石灰岩>片麻岩>板岩,分别为 235.6、225.8 和 221.1.檀皮的纤维形态指标以生长在石灰岩发育土壤上的 3 年生檀皮最优.

2.2 成土母岩和条龄与檀皮纤维形态

造纸植物纤维原料的使用价值主要决定于纤维的长度、宽度和长宽比等形态指标.不同成土母岩土壤和条龄对檀皮纤维长度、宽度、长宽比的影响见表 1.测定结果表明,檀皮纤维长度值在 2 181~2 730 μm,宽度在 9.8~12.0 μm,平均长宽比在 184.8~250.5 之间,因此檀皮是一种长纤维的造纸原料.

由表 1 可以看出,檀皮纤维长度随萌条年龄的

化趋势基本一致.3 种母岩发育土壤上的平均纤维长宽比(1~5 年生檀皮的平均值)是石灰岩>片麻岩>板岩,分别为 235.6、225.8 和 221.1.檀皮的纤维形态指标以生长在石灰岩发育土壤上的 3 年生檀皮最优.

2.3 成土母岩和条龄与檀皮的纤维素和木素含量

3 种成土母岩檀皮平均纤维素含量随年龄变化总体呈现有规律的先升后降趋势,依次排序为 3 年生>4 年生>2 年生>1 年生>5 年生,其中 3 年生平均檀皮纤维素含量比 5 年生的高 15.18%;不同成土母岩的土壤上檀皮平均纤维素含量依次排序为石灰岩>板岩>片麻岩(表 2),其中石灰岩土壤上檀皮平均纤维素含量分别比板岩和片麻岩高约 1.36%和 3.98%.方差分析表明,不同成土母岩、萌条年龄间的檀皮平均纤维素含量差异均达到显著水平(α=0.05).上述结果表明使用石灰岩发育土壤上的 3 年生檀皮纤维造纸,檀皮纤维素含量最高,纸浆得率应最好.

表 2 成土母岩和萌条年龄对檀皮纤维素和木素含量的影响

TABLE 2 Effects of soil-forming rocks and sprout ages on the content of cellulose and lignin of bark

%

|       | 成土母岩 | 萌条年龄/a      |             |            |             |            | 平均值      |
|-------|------|-------------|-------------|------------|-------------|------------|----------|
|       |      | 1           | 2           | 3          | 4           | 5          |          |
| 纤维素含量 | 石灰岩  | 36.7±1.7 bc | 38.5±1.5 b  | 41.0±1.7 a | 38.4±1.7 b  | 36.0±1.5 c | 38.11 a  |
|       | 板岩   | 37.5±1.3 b  | 38.3±1.0 ab | 39.8±1.3 a | 38.1±1.3 ab | 34.4±2.3 c | 37.60 a  |
|       | 片麻岩  | 36.3±1.4 b  | 36.9±0.6 b  | 39.4±1.6 a | 37.4±1.4 b  | 34.0±2.2 c | 36.65 b  |
|       | 平均值  | 36.59 c     | 37.89 b     | 40.07 a    | 37.94 b     | 34.79 d    |          |
| 木素含量  | 石灰岩  | 10.9±0.3 a  | 9.8±0.8 ab  | 9.3±0.8 b  | 9.9±0.7 ab  | 10.9±0.7 a | 10.15 b  |
|       | 板岩   | 11.4±0.8    | 10.9±0.7    | 10.3±0.7   | 10.9±0.8    | 11.5±0.7   | 11.00 a  |
|       | 片麻岩  | 10.8±0.9    | 10.6±0.7    | 9.8±0.8    | 10.4±0.8    | 11.2±0.8   | 10.55 ab |
|       | 平均值  | 11.04 ab    | 10.42 bc    | 9.79 c     | 10.37 bc    | 11.21 a    |          |

由表 2 可以看出,3 种成土母岩檀皮平均木素含量随年龄变化总体呈现有规律的先降后升趋势,以 5 年生平均檀皮木素含量最高,3 年生檀皮平均木素含量最少,变化趋势与纤维素相反;不同成土母岩的土壤上檀皮平均木素含量以板岩发育的土壤上最高,石灰岩上最低.方差分析表明,不同成土母岩、萌条年龄间的檀皮平均木素含量差异均达到显著水平( $\alpha=0.05$ ),以石灰岩发育土壤上的 3 年生檀皮木素含量最低.此结果表明使用 3 年生石灰岩土壤上生长的檀皮纤维造纸,制浆更容易,纸张耐久性可能更好.

2.4 成土母岩和条龄与檀皮聚戊糖含量

聚戊糖是植物纤维原料中半纤维素的一种主要成分,是指半纤维素中五碳糖组成的高聚物的总称.由图 2 可以看出,3 种成土母岩檀皮平均聚戊糖含量随年龄变化总体呈现出 1~3 年生下降、3~5 年生稳定的趋势,依次排序为 1 年生>2 年生>4 年生>3 年生>5 年生,分别是 9.34%、8.92%、8.30%、8.24%、8.17%.不同成土母岩的土壤上檀皮平均聚戊糖含量依次排序为板岩>石灰岩>片麻岩,分别是 8.95%、8.58%、8.25%.方差分析表明,不同成土母岩间的檀皮平均含量差异不显著,而不同萌条年龄间的檀皮平均聚戊糖含量差异达到显著水平( $\alpha=0.05$ ).聚戊糖是纤维中最易润胀的部分,含量愈少,纸的变形愈小.

3 讨 论

3.1 立地条件与檀皮质量

成土母岩通过风化后形成的土壤母质影响着土壤形成及土壤的物理性质和化学成分,从而对植物生长发育产生重要影响.对土壤养分的分析结果表明,在 3 种不同成土母岩的土壤中,养分条件较好的是板岩母质土壤,石灰岩母质次之,片麻岩母质土壤最差<sup>[13]</sup>.土层厚,养分充足,促进了青檀的生长,有利于提高檀皮基本密度和纤维素含量,并形成宽

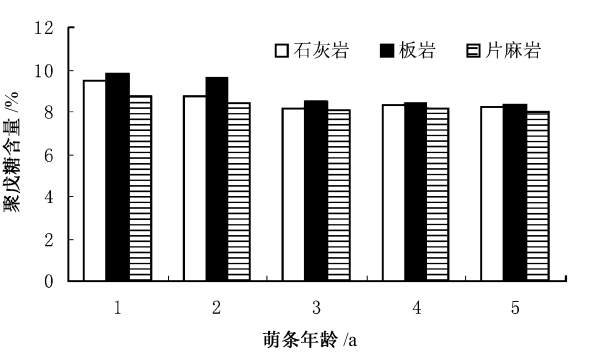


图 2 成土母岩和条龄对檀皮聚戊糖含量的影响

FIGURE 2 Effects of soil-forming rocks and sprout ages on the pentosan content of bark

比相对小一些的纤维.本研究的结果表明,生长在石灰岩母质发育土壤的檀皮质量最优,说明立地条件越好,檀皮产量可能越高,但檀皮质量不一定最优.

润墨性与青檀皮细胞壁上皱纹间积留的  $\text{CaCO}_3$  有关<sup>[2-4]</sup>,方升佐等的研究表明,立地条件对檀皮中的矿质元素含量存在影响<sup>[15]</sup>.3 年生檀皮中  $\text{Ca}$ 、 $\text{Mg}$  含量均为生长在石灰岩发育的土壤上的最高,其中  $\text{Ca}$  含量达  $17.3 \text{ g/kg}$ ,是板岩发育土壤上檀皮的 1.68 倍;且随着萌条年龄增大,檀皮中  $\text{Ca}$  含量逐渐提高,3 年生檀皮中  $\text{Ca}$  含量约为 1 年生檀皮中的 2 倍.说明石灰岩发育的土壤有利于  $\text{Ca}^{2+}$  积累,从而提高宣纸的润墨性能.

3.2 采伐年龄与檀皮质量

林木的材性、制浆造纸性能在不同年龄阶段有显著差异<sup>[24-26]</sup>,正确地确定轮伐期是经营纸浆林的一个关键环节.本研究的结果表明,条龄为 3 年生时收获檀皮质量最佳.檀皮基本密度、纤维形态、纤维素含量、木素含量和聚戊糖含量随年龄的变化趋势与木材(木质部)的变化趋势不完全一致.如对 3 种不同树龄马尾松(*Pinus massoniana*)的研究发现,木素、聚戊糖和综纤维素的含量随树龄增大稍有降低;基本密度、纤维平均长度、长宽比等均随树龄增大而增大<sup>[27]</sup>.对 5~8、8~10 和 10~15 年 3 个阶段的原

料进行分析发现, 桤木(*Alnus cremastogyne*)纤维的长度、长宽比随树龄的增加而稍有增加, 木素含量随树龄增加而增加, 均在 8~10 年时达到最大; 聚戊糖含量随树龄增大略有降低, 而纤维素含量则随树龄增大而显著提高<sup>[28]</sup>. 但檀皮质量变异规律与 1 年生洋麻 (*Hibiscus cannabinus*)<sup>[29]</sup> 和大麻 (*Cannabis sativa*)<sup>[30]</sup> 的木素含量及纤维素含量随时间的变化趋势基本一致, 也与李正理等人对青檀韧皮部解剖比较的研究结果相符<sup>[19]</sup>. 其可能原因是, 青檀 1 年生萌条的韧皮部中, 以初生韧皮纤维为主, 以后随着萌条年龄的增加, 树皮中的周皮迅速增多, 射线薄壁组织及部分皮层细胞不断扩展, 因此, 初生韧皮纤维越来越分散, 单位面积树皮上的分布数量也就越来越少; 在较老的次生韧皮部中残存的韧皮纤维也越来越“冲散”. 韧皮纤维在单位面积树皮上所占的比例有逐年下降的趋势.

参 考 文 献

[ 1 ] 宣城日报· 泾县: 宣纸业基本现状及进一步发展策略 [EB/OL]. (2005-09-14) [2005-09-30]. <http://www.paper.com.cn/news/daynews>.  
Xuancheng Daily· Jing County: Current situation and further development strategy of Xuan paper [EB/OL]. (2005-09-14) [2005-09-30]. <http://www.paper.com.cn/news/daynews>.  
[ 2 ] 刘仁庆, 瞿耀良· 宣纸耐久性的初步研究 [J]. 中国造纸, 1986, 5(6): 32-36.  
LIU R Q, QU Y L. A preliminary study on the durability of Xuan paper [J]. *China Pulp & Paper*, 1986, 5(6): 32-36.  
[ 3 ] 刘仁庆, 胡玉嘉· 宣纸润墨性之研究 [J]. 中国造纸, 1985, 4(2): 23-29.  
LIU R Q, HU Y X. Study on the characteristic of spreading of prepared Chinese ink [J]. *China Pulp & Paper*, 1985, 4(2): 23-29.  
[ 4 ] 刘仁庆· 关于宣纸的几个问题 [J]. 中国造纸, 2003, 22(11): 63-66.  
LIU R Q. A discussion on Xuan paper [J]. *China Pulp & Paper*, 2003, 22(11): 63-66.  
[ 5 ] 洪香香, 方升佐, 杜 艳· 青檀种子休眠机理及发芽条件的探讨 [J]. 植物资源与环境学报, 2002, 11(1): 9-13.  
FU X X, FANG S Z, DU Y. A study on mechanism of dormancy and germination condition of *Pteroceltis tatarinowii* seeds [J]. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2002, 11(1): 9-13.  
[ 6 ] 方升佐, 朱梅, 唐罗忠, 等· 不同种源青檀种子的营养成分及种子活力的差异 [J]. 植物资源与环境学报, 1998, 7(2): 16-21.  
FANG S Z, ZHU M, TANG L Z, *et al.* A preliminary study on seed nutrient ingredient contents and seed vigour for various provenances of *Pteroceltis tatarinowii* [J]. *Journal of Plant Resources and Environment*, 1998, 7(2): 16-21.  
[ 7 ] 洪香香, 方升佐, 汪红卫, 等· 青檀一年生播种苗的年生长规律 [J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2001, 25(6): 11-14.  
FU X X, FANG S Z, WANG H W, *et al.* Studies on annual growth

dynamics of one-year seedlings of *Pteroceltis tatarinowii* [J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 2001, 25(6): 11-14.  
[ 8 ] 惠超· 青檀绿枝扦插育苗技术 [J]. 林业科技开发, 2003, 17(2): 53.  
HUI C. Seedling cultivation techniques of *Pteroceltis tatarinowii* with fresh cuttings [J]. *China Forestry Sciences and Technology*, 2003, 17(2): 53.  
[ 9 ] 刘桂华· 青檀耐荫性的初步研究 [J]. 经济林研究, 1996, 14(2): 7-10.  
LIU G H. A preliminary study on shade endurance of *Pteroceltis tatarinowii* [J]. *Economic Forest Researches*, 1996, 14(2): 7-10.  
[ 10 ] 侯娉英, 方升佐, 薛建辉, 等· 干旱胁迫对青檀等树种苗木生长及生理特性的影响 [J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2003, 27(6): 103-106.  
HOU C Y, FANG S Z, XUE J H, *et al.* The effects of drought stress on the one-year seedling growth and physiology properties of *Pteroceltis tatarinowii*, *Taxodium distichum* and *Fraxinus velutina* [J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 2003, 27(6): 103-106.  
[ 11 ] 丁佐龙, 何云核, 石苏华, 等· 青檀叶的营养成分分析 [J]. 安徽农业大学学报, 1997, 24(1): 18-20.  
DING Z L, HE Y H, SHI S H, *et al.* Composition of nutritive ingredient in whinghack berry leaves [J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 1997, 24(1): 18-20.  
[ 12 ] 李光友, 方升佐, 吕家驹, 等· 立地条件对青檀人工林生物生产力及檀皮产量的影响 [J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2001, 25(4): 49-53.  
LI G Y, FANG S Z, LÜ J J, *et al.* The effects of site conditions on above-ground biomass production and bark yield of *Pteroceltis tatarinowii* plantations [J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 2001, 25(4): 49-53.  
[ 13 ] FANG S Z, HOU C Y, FU X X. Effects of Ca<sup>2+</sup> concentrations on accumulations of mineral elements in the components of *Pteroceltis tatarinowii* [J]. *Journal of Forestry Research*, 2003, 14(1): 46-50.  
[ 14 ] 方升佐, 李光友, 洪香香· 立地条件对青檀檀皮中矿质元素含量的影响 [J]. 林业科学, 2002, 38(1): 8-14.  
FANG S Z, LI G Y, FU X X. Effects of site conditions on mineral element content in the bark of wingceltis (*Pteroceltis tatarinowii*) [J]. *Scientia Silvæ Sinicae*, 2002, 38(1): 8-14.  
[ 15 ] 方升佐, 李光友, 李同顺, 等· 经营措施对青檀人工林生物量及檀皮产量的影响 [J]. 植物资源与环境学报, 2001, 10(1): 21-24.  
FANG S Z, LI G Y, LI T S, *et al.* The effects of management practice on above ground biomass production and phloem production of *Pteroceltis tatarinowii* Maxim. plantations [J]. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2001, 10(1): 21-24.  
[ 16 ] 李金昌, 王秀滨, 邢示辉· 青檀的综合开发利用研究 [J]. 中国水土保持, 1996(5): 37-38.  
LI J C, WANG X B, XING S H. Comprehensive development and utilization of *Pteroceltis tatarinowii* [J]. *Water and Soil Conservation of China*, 1996(5): 37-38.  
[ 17 ] 王文静, 何雅蕾· 宝天曼自然保护区青檀林结构特征与物种多样性研究 [J]. 河南农业大学学报, 2001, 35(1): 364-367.

WANG W J, HE Y Q. Studies on the structural feature and species diversity of *Pteroceltis tatarinowii* forest in Baotianman National Nature Reserve [J]. *Journal of He'nan Agricultural University*, 2001, 35(1):364-367.

[18] 傅松玲,李宏开. 琅琊山青檀天然林群落特征及发展前景的探讨[J]. *经济林研究*, 1997, 15(1):13-15.

FU S L, LI H K. Community characteristics of natural whinghack berry forest with reference to prospects for development [J]. *Economic Forest Researches*, 1997, 15(1):13-15.

[19] 李正理,胡玉熹,刘淑琼. 青檀各年枝韧皮纤维的比较解剖[J]. *植物学报*, 1965, 13(4):330-338.

LI Z L, HU Y X, LIU S Q. Anatomical comparison of phloem cellulose of *Pteroceltis tatarinowii* at different ages [J]. *Acta Botanica Sinica*, 1965, 13(4):330-338.

[20] 高慧,石苏华. 青檀树枝制浆性能[J]. *纸和造纸*, 2002(2):43.

GAO H, SHI S H. Pulp-making properties of *Pteroceltis tatarinowii* branches[J]. *Paper and Paper Making*, 2002(2):43.

[21] 洪香香,方升佐,田野,等.  $Ca^{2+}$  浓度对青檀生长和檀皮质量的影响[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(9):1 502-1 506.

FU X X, FANG S Z, TIAN Y, *et al.* Effect of  $Ca^{2+}$  concentration on the growth and bark quality of *Pteroceltis tatarinowii*[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(9):1 502-1 506.

[22] 王明安,王明奎,彭树林,等. 青檀树皮中的化学成份[J]. *天然产物研究与开发*, 2001, 13(6):5-8.

WANG M A, WANG M K, PENG S L, *et al.* Chemical constituents from the barks of *Pteroceltis tatarinowii* [J]. *Natural Product Research and Development*, 2001, 13(6):5-8.

[23] 刘书钗. 制浆造纸分析与检测[M]. 北京:化学工业出版社, 2004.

LIU S C. *Analysis and test of pulp and paper making* [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004.

[24] 庞志强,陈嘉川,杨桂花. 植物纤维原料生长时间对化学成分和制浆性能的影响[J]. *黑龙江造纸*, 2004(2):12-14.

PANG Z Q, CHEN J C, YANG G H. Influence of vegetal time on chemical composition and pulping properties [J]. *Paper Making of Heilongjiang Province*, 2004(2):12-14.

[25] 胡惠仁,石淑兰,何秋实. 松木树龄对制浆性能的影响[J]. *纸和造纸*, 2000(1):43-44.

HU H R, SHI S L, HE Q S. Effects of pine ages on pulping properties [J]. *Paper and Paper Making*, 2000(1):43-44.

[26] HATTON J V. Pulping and paper making properties of managed second-growth softwoods [J]. *Tappi Journal*, 1997, 80 (1):178-184.

[27] 尤纪雪,沈文英,纪文兰,等. 不同树龄福建马尾松 KP 法制浆性能的评价[J]. *林产化学与工业*, 1996, 16(4):29-35.

YOU J X, SHEN W Y, JI W L, *et al.* Evaluation of pulping properties of Masson pine at different ages from Fujian [J]. *Chemistry and Industry of Forest Products*, 1996, 16(4):29-35.

[28] 徐淑莺,邱玉桂,姚兰英. 不同树龄桉木的原料特性分析[J]. *纸和造纸*, 2001(2):34-35.

XU S Y, QIU Y G, YAO L Y. Characteristic analysis of alders at different grades of wood-ages [J]. *Paper and Paper Making*, 2001(2):34-35.

[29] KARAKUS S, ROY D N, GOEL K. Chemical and soda pulping properties of kenaf as a function of growth [J]. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 2001, 21(2):157-167.

[30] KAMAT J, ROY D N. Effect of harvesting age on the chemical properties of hemp plants [J]. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 2002, 22(4):285-293.

(责任编辑 李文军)