

# 欧美杨 107 应拉木的纤维形态与化学组成

牛敏<sup>1</sup> 高慧<sup>2</sup> 赵广杰<sup>1</sup>

(1 北京林业大学材料科学与技术学院 2 安徽农业大学林学与园林学院)

**摘要:** 为了解欧美杨 107 应拉木纤维形态与化学成分构成,并以此分析欧美杨 107 应拉木作为制浆材的可行性,用切片法测定了应拉木和对应木的纤维形态,并按照 GB/T 2677(2-10)—1993 分析其化学成分构成。结果表明:1) 应拉木和对应木纤维的平均长度分别为 1 321 和 1 227  $\mu\text{m}$ ,长宽比分别为 59.48 和 44.94,壁腔比分别为 0.86 和 0.39。2) 应拉木和对应木的 Klason 木素含量分别为 17.20% 和 24.04%,硝酸乙醇纤维素含量分别为 59.14% 和 45.52%,综纤维素含量分别为 86.59% 和 78.41%,苯醇抽出物含量分别为 1.32% 和 1.87%,1% NaOH 抽出物含量分别为 13.95% 和 21.58%,灰分含量都低于 1%。根据对纤维形态和化学成分的测定结果判断:欧美杨 107 木材的应拉木和对应木都能满足制浆性能的要求,在实际生产中都可被用作制浆材,且应拉木制浆性能比对应木好。

**关键词:** 欧美杨 107; 应拉木; 对应木; 纤维形态; 化学成分

中图分类号: S781.42 文献标志码: A 文章编号: 1000-1522(2010)02-0141-04

NIU Min<sup>1</sup>; GAO Hui<sup>2</sup>; ZHAO Guang-jie<sup>1</sup>. **Fiber morphology and chemical composition of tension wood in *Populus × euramericana* cv. 'Neva'.** *Journal of Beijing Forestry University* (2010) 32(2) 141-144 [Ch, 23 ref.]

1 College of Materials Science and Technology, Beijing Forestry University, 100083, P. R. China;

2 School of Forestry and Landscape Architecture, Anhui Agricultural University, Hefei, 230036, P. R. China.

To ascertain fiber morphology and chemical composition of tension wood, and then to analyze the feasibility of tension wood pulping in *Populus × euramericana* cv. 'Neva', fiber morphologies of tension wood and opposite wood were measured by making slices and chemical compositions of mentioned wood were analyzed by GB/T 2677(2-10)—1993. The results showed that: 1) for tension wood and opposite wood, average fiber length was 1 321 and 1 227  $\mu\text{m}$ , the ratio of length to width was 59.48 and 44.94, and the ratio of double wall thickness to lumen diameter was 0.86 and 0.39, respectively. 2) Also for tension wood and opposite wood, the content of Klason lignin was 17.20% and 24.04%, the content of cellulose was 59.14% and 45.52%, the content of acid-ethanol cellulose was 86.59% and 78.41%, the content of extractive using benzene-ethanol was 1.32% and 1.87%, the content of extractive using sodium hydroxide (concentration 1%) was 13.95% and 21.58%, respectively, and the ash contents were all less than 1%. Judging by the research on fiber morphology and chemical composition, tension wood and opposite wood of *Populus × euramericana* cv. 'Neva' can satisfy the performance of pulping and be all regarded as materials to make pulping in actual production and the pulping property of tension wood will be better than that of opposite wood.

**Key words** *Populus × euramericana* cv. 'Neva'; tension wood; opposite wood; fiber morphology; chemical composition

收稿日期: 2008-11-17

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30671641)。

第一作者: 牛敏, 博士生。主要研究方向: 木材性质与加工利用。电话: 13426207428 Email: niumin521@163.com 地址: 100083 北京市清华东路 35 号北京林业大学 809 信箱。

责任作者: 赵广杰, 博士, 教授, 博士生导师。主要研究方向: 木材科学与技术。电话: 010-62337751 Email: zhaows@bjfu.edu.cn 地址: 100083 北京市清华东路 35 号北京林业大学材料科学与技术学院。

本刊网址: <http://www.bjfujournal.cn>; <http://journal.bjfu.edu.cn> (C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

欧美杨 107 (*Populus × euramericana* cv. ‘Neva’) 作为工业用材的新品种,国内林业科学研究者在其育种和营林方面开展了大量的研究工作<sup>[1-4]</sup>,同时在其木材物理、力学性能、制浆性能和纸张性能等方面也开展了一些研究<sup>[5-7]</sup>。几乎所有的相关研究都是针对欧美杨 107 正常材材性的预测和分析。虽然国内外学者有对应力木的形成机理<sup>[8-10]</sup>、应拉木纤维素微纤维的机械行为<sup>[11]</sup>、结构特性<sup>[12]</sup>、生长应力和纤维形态特征<sup>[13]</sup>、密度和轴向干缩性能<sup>[14]</sup>、解剖特征和木素分布<sup>[15]</sup>以及纤维 G 层的形态学和化学特征<sup>[16]</sup>等进行过研究,但对欧美杨 107 应拉木的构造对制浆性能和纸张性能的影响未见报导。因此,本研究着手于欧美杨 107 应拉木的纤维长度、长宽比、壁腔比以及化学成分构成等方面,以此来分析欧美杨 107 应拉木作为制浆材的可行性,并取对应木与之比较。通过揭示欧美杨 107 应拉木的纤维形态和化学组成分别与制浆造纸利用之间的关系,为欧美杨 107 应拉木制浆工艺的制定提供科学的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材 料

欧美杨 107,7 年生,树高 16.2 m,胸径 19 cm,倾斜角度 25°,采自河南省濮阳市白岗乡林场。由于应拉木多分布在倾斜或弯曲树干的上侧,因此取树干倾斜处的一段木材用作试验材料。

先将取下的木段划分出应拉木和对应木,然后将划分出的一部分试样制成 10 mm × 10 mm × 10 mm 大小的立方块进行软化、切片,以观察横切面的细胞形态。同时从试样上削下少量木材离析后,用于测定纤维长度;另一部分劈成火柴杆大小,在粉碎机上磨成 40 ~ 60 目的粉末,用于分析化学成分。

1.2 方 法

1.2.1 应拉木与对应木的划分

用碘-氯化锌试剂涂刷在截取原木的横断面上,根据显色的区域划分出应拉木的分布区域:角度大约为 120°。由于树木生长的前 3 年应拉木特征不明显,仅在第 4、5、6 三个年轮显色较深,第 7 个年轮也没有明显的应拉木。对应木在应拉木的对顶角区域,且和应拉木取相同年轮进行比较研究。

1.2.2 纤维形态测定

将切片用双染色法染色后测双壁厚和胞腔径,其中番红溶液和固绿溶液都要现用现配,其浓度(质量比)都为 5%。据经验,使用番红染色约需 10 min,固绿染色约需 8 min。

使用体积比为 1:1 的铬酸和硝酸(浓度均为 10%)混合溶液,对削下的少量木材进行离析,然后将离析的单根纤维放在 100 倍的纤维投影仪下测其长度。所测纤维数为 200 根,精确到 0.01 mm。

1.2.3 化学成分测定

原料中水分、灰分、抽提物、Klason 木质素、综纤维素和硝酸乙醇纤维素含量的测定都按照 GB/T 2677(2-10)—1993 进行<sup>[17]</sup>。

2 结果与分析

2.1 横切面的显微特征

图 1 和图 2 是欧美杨 107 应拉木和对应木横切面的纤维细胞形态的光学显微照片。从两图可以看出应拉木的细胞形态完全不同于对应木,其不同主要表现在以下两点:1) 应拉木纤维的胞壁内层有胶质层(G 层)<sup>[18]</sup>,而对应木胞壁内层无胶质层;2) 应拉木纤维的细胞壁(包括呈肿胀状的胶质层)较厚,外形略呈圆形,而对应木的细胞壁较薄,且外形大部分都是多角形。

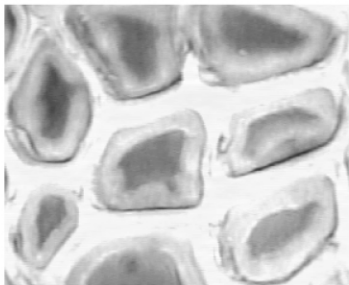


图 1 应拉木的胶质纤维形态(400 ×)

Fig. 1 G-fiber morphology of tension wood

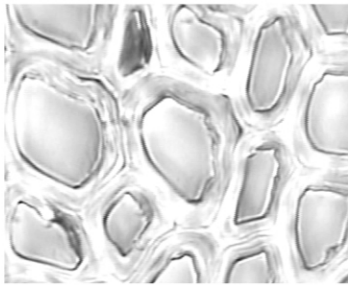


图 2 对应木的纤维形态(400 ×)

Fig. 2 Fiber morphology of opposite wood

2.2 应拉木与对应木的纤维形态

欧美杨 107 应拉木和对应木的纤维形态的测定结果见表 1。

表 1 应拉木与对应木的纤维形态

Tab. 1 Fiber morphology of tension wood and opposite wood						
试样	纤维平均 长度/μm	宽度/ μm	胞腔径/ μm	双壁厚/ μm	长宽比	壁腔比
应拉木	1 321	22.21	11.94	10.27	59.48	0.86
对应木	1 227	25.08	18.02	7.06	44.94	0.39

2.2.1 纤维长度

纤维长度在纤维形态中最为重要,也是衡量纸浆用材树种性能优劣的重要指标之一<sup>[19]</sup>。纤维长

度的增加不但能提高纸张的撕裂度,还能提高纸张的抗拉强度、耐破度和耐折度等。从表 1 中看到:应拉木和对应木的纤维平均长度分别为 1 321 和 1 227  $\mu\text{m}$ 。从纤维平均长度看,应拉木作为纸浆材要优于对应木。高慧等<sup>[20-21]</sup>先是对中汉-22 杨(*Populus sp.*)的纤维平均长度进行了测定,其结果为 1 190  $\mu\text{m}$ ,然后又对小黑杨(*Populus simonii*  $\times$  *P. nigra*)成熟材的纤维平均长度进行测定,结果为 838  $\mu\text{m}$ 。靳群贤等<sup>[19]</sup>对新疆地区 9 种杂交杨木的纤维形态分别进行了测定,得到纤维平均长度、长宽比和分布频率等数据。从他们所测得的纤维平均长度来看,均小于本试验应拉木和对应木的结果。因此,欧美杨 107 应拉木和对应木在纤维平均长度上较其他杨木显示出很大的优越性。

在考虑纤维平均长度的影响时,只看纤维平均长度是不全面的,还必须注意其不均一性。不均一性常用频率分布图表示。图 3 和图 4 分别是应拉木和对应木的纤维长度频率分布图。由图 3 和图 4 看出,应拉木和对应木的纤维长度都符合正态分布,其应拉木的长度值大多集中在 950 ~ 1 850  $\mu\text{m}$  之间,大约占总数的 96.0%;对应木的纤维长度值大多集中在 900 ~ 1 600  $\mu\text{m}$  之间,大约占总数的 95.5%。这说明两区木材的纤维均整性都较好。

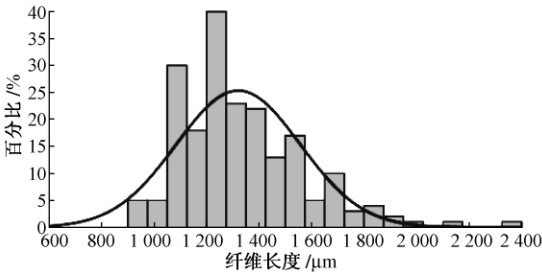


图 3 应拉木的纤维长度  
Fig. 3 Fiber length of tension wood

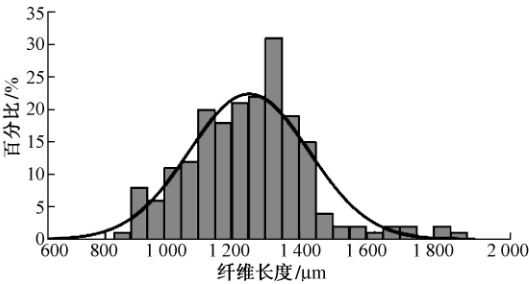


图 4 对应木的纤维长度  
Fig. 4 Fiber length of opposite wood

2.2.2 纤维长宽比和壁腔比

在制浆造纸上,纤维细胞的长宽比大有利于纤维的交织,从而纸张强度得到提高;壁腔比小,纤维受外力作用易溃陷变形,彼此结合较容易,有利于提高纸张的耐破度、耐折度和抗张指数。一般认为长

宽比大于 56,壁腔比小于 1 的纤维是制浆的好原料,而长宽比小于 30,壁腔比大于 1 的原料则不宜制浆。

从表 1 中看到:应拉木的纤维长宽比为 59.48,壁腔比为 0.86;对应木的纤维长宽比为 44.94,壁腔比为 0.39。从纤维长宽比和壁腔比来看,应拉木和对应木都适宜制浆。然而应拉木在制浆时,一方面可能由于长宽比大,使得纸张的撕裂指数较大;另一方面可能由于其细胞壁厚,同时胞壁内层胶质纤维呈肿胀状态,占据更多的细胞腔空间,导致细胞腔较小,最终使得纤维彼此结合力差,纸张的耐破度、耐折度和抗张强度都较差。

2.3 应拉木与对应木的化学成分

由于半纤维素性质不稳定,利用国标测定的含量,其误差往往较大,因此化学成分主要测定 Klason 木素、综纤维素、硝酸乙醇纤维素、抽提物和灰分的含量。表 2 是欧美杨 107 应拉木和对应木化学成分的测定结果。

表 2 应拉木和对应木的化学成分  
Tab. 2 Chemical components of tension wood and opposite wood

试样	灰分	苯醇抽 出物	1% NaOH 抽出物	Klason 木素	综纤维 素	硝酸乙醇 纤维素
应拉木	0.49	1.32	13.95	17.20	86.59	59.14
对应木	0.35	1.87	21.58	24.04	78.41	45.52

从表 2 看出,应拉木 Klason 木素含量比对应木低,综纤维素含量和硝酸乙醇纤维素含量比对应木高。这可能是由于应拉木次生壁的  $S_3$  层被木质化程度较低或者被纤维化程度较高的胶质层所代替<sup>[22-23]</sup>。

木素含量高,除在化学制浆过程中消耗较多的药品外,而且纸浆亲水性差,纤维之间的结合力低,成纸的强度差。因此,在制浆中要尽可能多地去除木素。用碱量和保温时间在制浆过程中对脱木素的影响很大,用碱量越大,保温时间越长,脱木素则越彻底,卡伯值(残余木素)将越小。因此,根据以上分析可知,在卡伯值相同时,应拉木比对应木耗碱量小、保温时间短;而在耗碱量和保温时间相同的条件下,应拉木制浆后的卡伯值也将会比对应木低。因此,选择应拉木制浆,在环保和节能方面都有着重要意义。

木材中次要组分一般指灰分和抽提物。灰分主要是钾、钠、钙的无机盐类,若生产精制浆,则需在制浆过程中控制灰分含量。一般认为,纤维原料的灰分含量低于 1% 则属于优质范围。从表 2 看出,应拉木的灰分含量为 0.49%,对应木的灰分含量为 0.35%。两者的灰分含量都小于 1%,因此从灰分

来看,两者都能作为制浆优质材。

苯醇抽出物主要有树脂、脂肪、蜡、可溶性单宁和色素等,其中树脂、脂肪容易与碱发生皂化反应而溶于水中<sup>[21]</sup>。应拉木苯醇抽出物含量为 1.32%,较对应木低,这在碱法制浆时将会降低用碱量。

由于植物纤维原料中溶于热水和冷水的物质都能溶于 1% NaOH,因此 1% NaOH 抽出物含量常常被作为评定纤维原料中抽提物含量多少的重要指标之一。从表 2 看出,应拉木的 1% NaOH 抽出物含量为 13.95%,比对应木低。因此在碱法制浆中,应拉木耗碱量少,纸浆得率高。

3 结 论

1) 应拉木和对应木的纤维平均长度分别为 1 321 和 1 227 μm,长宽比分别为 59.48 和 44.94,壁腔比分别为 0.86 和 0.39。

2) 应拉木和对应木的 Klason 木素含量分别为 17.20% 和 24.04%,硝酸乙醇纤维素含量分别为 59.14% 和 45.52%,综纤维素含量分别为 86.59% 和 78.41%,两区木材的灰分含量都小于 1%,应拉木的抽提物含量低于对应木。

3) 从纤维形态和化学成分构成来看,欧美杨 107 的应拉木和对应木都能作为较好的制浆造纸原料。且根据数据判断得知,应拉木在制浆过程中耗碱量少,纸浆得率高,且在相同耗碱量和保温时间条件下,应拉木制浆后的卡伯值较对应木低。与对应木相比,在纸张性能上应拉木的抗张强度、耐破度和耐折度都较小,撕裂强度较大。

参 考 文 献

[1] 尹建庭. 土壤水分对欧美 107 杨幼苗生理生态特性的影响 [D]. 北京:北京林业大学, 2007.

[2] 张子河, 陈亮, 张黎. 豫北地区 107 杨与中林 46 杨造林对比实验 [J]. 林业科技开发, 2006, 20(2): 78-79.

[3] 杜春林. 欧美 107 杨干旱山区造林技术的研究 [J]. 河北林业科技, 2006, 34(1): 13-14.

[4] 何长敏. 土壤质地与施肥对欧美杨 107 杨生长的影响 [J]. 河南林业科技, 2006, 26(3): 16-17.

[5] 张黎, 赵荣军, 费本华. 欧美杨 107 杨树木材纤维形态分析 [C]//中国林学会木材科学分会. 中国林学会木材科学分会第十一次学术研讨会论文集. 昆明:中国林学会木材科学分会, 2007:1-5.

[6] 赵荣军, 费本华, 张波, 等. 不同土质对欧美杨 107 杨树木材性质的影响 [C]//中国林学会木材科学分会. 中国林学会木材科学分会第十一次学术研讨会论文集. 昆明:中国林学会木材科学分会, 2007:39-43.

[7] 杨蕾, 姚春丽. 不同立地条件对欧美杨 107 材性及 ASAM 制浆性能的影响 [J]. 造纸科学与技术, 2007, 26(3): 8-12.

[8] FANG C H, CLAIR B, GRIL J, et al. Growth stresses are highly controlled by the amount G-layer in poplar tension wood [J].

IWA Journal, 2008, 29(3): 237-246.

[9] SHENG D, HIROKI U, FUKUJU Y. Role of auxin and gibberellin in gravity-induced tension wood formation in *Aesculus Turbinata* seedlings [J]. IWA Journal, 2004, 25(3): 337-347.

[10] CLAIR B, GRIL J, BABA K, et al. Precautions for the structural analysis of the gelatinous layer in tension wood [J]. IWA Journal, 2005, 26(2): 189-195.

[11] CLAIR B, ALMERAS T, YAMAMOTO H, et al. Mechanical behavior of cellulose microfibrils in tension wood in relation with maturation stress generation [J]. Biophysical Journal, 2006, 91(3): 1128-1135.

[12] MARTIN M, MANFRED B, JUNJI S. Direct investigation of the structural properties of tension wood cellulose microfibrils using microbeam X-ray fibre diffraction [J]. Holzforschung, 2006, 60(5): 474-479.

[13] 刘亚梅, 王传文, 方长华, 等. 1-69 杨应拉木生长应力及纤维形态特征的研究 [J]. 安徽农业大学学报, 2007, 34(4): 534-539.

[14] JOUREZ B, RIBOUX A, LECLERCQ A. Comparison of basic density and longitudinal shrinkage in tension wood and opposite wood young stems of *Populus x euramericana* cv. Ghoys when subjected to a gravitational stimulus [J]. Canadian Journal of Forest Research, 2001, 31(10): 1676-1683.

[15] XU F, SUN R C, LU Q, et al. Comparative study of anatomy and lignin distribution in normal and tension wood of *Salix gordejecii* [J]. Wood Science and Technology, 2006, 40(5): 358-370.

[16] GEOFFREY D, LADA F, ASA M K, et al. Morphological and chemical characterisation of the G-layer in tension wood fibres of *Populus tremula* and *Betula verrucosa*: labelling with cellulose-binding module CBM1<sub>H<sub>3</sub>Cel7A</sub> and fluorescence and FE-SEM microscopy [J]. Holzforschung, 2006, 60(6): 618-624.

[17] 国家轻工业局质量标准处. 中国轻工业标准汇编: 造纸卷 (上册) [G]. 北京: 中国标准出版社, 1999: 200-220.

[18] ARAKI N, FUJITA M, SAIKI H, et al. Transition of fiber wall structure from normal wood to tension wood in certain species having gelatinous fibers of S<sub>1</sub> + G and S<sub>1</sub> + S<sub>2</sub> + S<sub>3</sub> + G types [J]. Mokuzai Gakkaishi, 1983, 29(8): 491-499.

[19] 靳群贤, 刘瑞, 李炎, 等. 几种杨树木材纤维形态分析 [J]. 林产工业, 1996, 23(5): 26-29.

[20] 高慧, 刘盛全, 周亮. 中汉-22 杨制浆性能初探 [J]. 纸和造纸, 2005, 24(3): 55-57.

[21] 高慧, 刘杏娥, 张利萍, 等. 小黑杨幼龄材与成熟材制浆性能的比较 [J]. 林业科学, 2008, 44(2): 111-115.

[22] NORBERG H, MEIER H. Physical and chemical properties of the gelatinous layer in tension wood fibers of aspen (*Populus tremula* L.) [J]. Holzforschung, 1966, 20(6): 174-178.

[23] OKUMURA S, HARADA H, SAIKI H. Thickness variation of the G-layer along a mature and a differentiating tension wood fiber in *Populus euramerica* [J]. Wood Science and Technology, 1977, 11(1): 23-32.

(责任编辑 李文军 吴 娟)