

# 美洲黑杨新无性系木材胶质木纤维分布规律 及与正常木纤维形态的比较研究

王 丰<sup>1</sup>, 何 倩<sup>1</sup>, 卢 可<sup>1</sup>, 潘成浩<sup>1</sup>, 邱梓皓<sup>1</sup>, 潘 彪<sup>1\*</sup>, 连彩萍<sup>1</sup>, 潘惠新<sup>2</sup>

(1. 南京林业大学材料科学与工程学院, 南京 210037; 2. 南京林业大学林学院, 南京 210037)

**摘 要:** 研究 11 年生的 12 个美洲黑杨新无性系正常木材中胶质木纤维组织比量及径向变化规律, 并利用氯-锌-碘染色法宏观下分别提取只含有正常木纤维和胶质木纤维的木样进行离析, 比较纤维长度和宽度。结果表明, 胶质木纤维在木材中主要有星散聚合状和弦向带状 2 种分布方式, 各品系美洲黑杨胶质木纤维组织比量在 5.15%~18.83% 之间, 不同品系间胶质木纤维组织比量差异极显著。与对照组 NL-351 (8.26%) 比较, 无性系 10-34 (5.16%) 和 7-45 (7.85%) 的胶质木纤维组织比量较小; 其他无性系胶质木纤维组织比量均大于对照组, 无性系 1-20 (18.83%) 最大。除 4-45 外, 美洲黑杨新无性系正常木材胶质木纤维组织比量变化规律为: 从髓心开始, 随着生长轮的龄的增加胶质木纤维组织比量不断减小。离析实验表明正常木纤维与胶质木纤维长、宽差异无明显规律性, 认为正常木纤维与胶质木纤维长宽无明显差异。

**关键词:** 美洲黑杨; 无性系; 胶质木纤维; 分布

中图分类号: S781.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2015)01-0034-05

## Distribution of the gelatinous fiber and the anatomical difference between the gelatinous and the normal fibers in the new clones of *Populus deltoides*

WANG Feng<sup>1</sup>, HE Qian<sup>1</sup>, LU Ke<sup>1</sup>, PAN Chenghao<sup>1</sup>, QIU Zihao<sup>1</sup>, PAN Biao<sup>1</sup>, LIAN Caiping<sup>1</sup>, PAN Huixin<sup>2</sup>

(1. College of Wood Science and Technology, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037;

2. College of Forestry, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037

**Abstract:** Tissue proportion and radial variation of gelatinous fiber (G-fiber) in 12 11-year-old new clones of *Populus deltoides* were analyzed. In addition, five groups of normal fiber and G-fiber in the 3rd growth ring were selected using ZnCl<sub>2</sub>-I<sub>2</sub> staining method to compare their anatomical features. The results showed that G-fiber distributed in scattered groups or tangential bands. Tissue proportion of G-fiber was between 5.15% and 18.83% in 12 clones and it was significantly different among clones. Compared with the control group NL-351 (8.26%), clone 10-34 (5.16%) and 7-45 (7.85%) had a lower G-fiber proportion, while clone 1-20 (18.83%) had the highest G-fiber proportion. The radial variation of G-fiber distribution was similar: G-fiber proportion decreased from pith to bark except 4-45. There was no significant difference in length and width between G-fiber and normal fiber.

**Key words:** *Populus deltoides*; clones; gelatinous fiber; distribution

美洲黑杨 (*Populus deltoides*) 是我国上世纪引进的速生杨树树种, 具有适应性强、生长迅速、材质优良、高产等特点, 可作制浆造及纸人造板制造的原料, 是速生用材及绿化造林的主要树种, 具有良好的经济和生态效益, 在我国杨树产业中占有重要的地位<sup>[1-2]</sup>。近年来, 美洲黑杨无性系的优良品种

选育和栽培受到大量关注<sup>[3-7]</sup>。

胶质木纤维是一种木材构造缺陷, 存在于应拉木之中, 偶尔也会出现在非偏心木材之中, 如杨木。与正常的木纤维不同, 胶质木纤维内部有一层厚且未木质化的胶质层<sup>[8]</sup>, 这层胶质层常常不能和正常的次生壁紧密结合而是松弛附着。在加工利用中胶

收稿日期: 2014-09-29

基金项目: “超高产优质杨树速生材新品种选育” (2012BAD01B0303) 和国家级大学生创新创业训练计划项目共同资助。

作者简介: 王 丰, 硕士研究生。

\* 通信作者: 潘 彪, 教授。E-mail: Pan.Biao@163.com

质木纤维会导致夹锯、起毛的现象产生, 增加对刀具的磨损, 生产生活中常需避免加工含大量胶质木纤维的木材。正常生长情况下的美洲黑杨木材内也分布了一定量的胶质木纤维, 了解其胶质木纤维组织比量的多少对美洲黑杨木材的利用具有重要意义。目前关于胶质木纤维的研究主要集中于应拉木之中。罗蓓等<sup>[9]</sup>利用 SEM 对水曲柳(*Fraxinus mandschurica*)偏心材中胶质木纤维的分布进行研究, 发现水曲柳上侧受拉部位胶质木纤维量大而对应的下侧木材胶质木纤维较少。周亮等<sup>[10]</sup>对欧美杨正常木及应拉木的纤维形态和化学成分进行研究, 认为应拉木的双壁厚、壁腔比、木射线比量和纤维比量均高于正常木, 而正常木的纤维长度、纤维宽度、纤维长宽比、胞腔径、微纤丝角、导管比量均大于应拉木。Lautner 等<sup>[11]</sup>研究了黑杨应拉木胶质木纤维微纤丝角的分布, 验证了在杨木应力木中导管分布较少, 且应力木木材密度较大这一结果, 验证了胶质层的微纤丝角为 0°这一观点。而对非偏心木材中的胶质木纤维的研究较少。

NL-351 杨是南京林业大学杨树研究中心在“七五”期间选育的美洲黑杨新品种。1982 年通过国家级技术鉴定, NL-351 杨具有父母本的优良特性, 生长快, 干形通直圆满, 材质优良, 抗病和适应性强。为比较培育的美洲黑杨新无性系非偏心木材和 NL-351 杨的胶质木纤维含量多少, 进行了 11 个美洲黑杨新无性系和对照组 NL-351 杨正常木材胶质木纤维形态特征及从胶质木纤维在髓心向外不同生长轮中分布的研究, 比较出胶质木纤维组织比量较少的无性系树种, 为新无性系良种选育提供指导, 也为美洲黑杨木材加工利用提供重要的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验材料为南京林业大学杨树育种组在泗洪县陈圩林场。基地地处洪泽湖畔, 北纬 33°16', 东经 118°21', 年平均气温 14.4℃, 最冷月(1 月份)平均气温 -7℃, 最热月(7 月份)平均气温 28℃, 无霜期为 197 d, 全年日照时间为 2095.2 h, 年降雨量为 972.5 mm。开展无性系试验中选育的 11 年生的 11 个美洲黑杨杂种无性系和对照组 NL-351 杨, 平均胸径 22 cm, 树高约 22 m, 每个品系选取 3 株。在胸高处通过髓心锯截 2×3 cm 的中心板条(南北向)。

### 1.2 切片及离析

为研究胶质木纤维的含量多少, 以胸高处锯截的 2×3cm 中心板条为样本, 所有试样均为非偏心

木材。按生长轮锯切试样, 每个试样都包含一个完整的生长轮, 但如生长轮过宽或较窄时, 将过长木块分段或几个年轮合并。经水煮软化后将待切试样放在滑走式切片机上切片, 切片厚度 15 μm, 采用番红-固绿染色(番红染色 15 min, 固绿染色 10~15 s), 制成永久切片。利用 OLYMPUS X51 光学显微镜观察胶质木纤维分布特征并拍照。选取部分切片后的木块进行喷金处理, 利用 HITACHI TM1000 扫描电子显微镜观察。

宏观下试样表面涂刷氯锌碘染剂(取氯化锌 20 g, 加水 10 mL 使溶解, 加碘化钾 2 g 溶解后, 再加碘使饱和), 胶质木纤维组织比量较高的位置呈现蓝色(图 1), 在 12 组无性系美洲黑杨中共选取了 5 组在相同生长轮中的无胶质木纤维及全为胶质木纤维的小块, 这 5 组小块分别取自于 1-20 的 3 棵树, 4-6、8-9 的一棵树, 编号为 A-E, 将小块切成细长条, 用富兰克林离析法<sup>[12]</sup>离析, 番红染色制成临时切片。利用 OLYMPUS X51 光学显微镜观察纤维形态特征并拍照。



图 1 氯锌碘对杨木横断面染色情况  
Figure 1 Surface staining of Poplar with  $ZnCl_2-I_2$

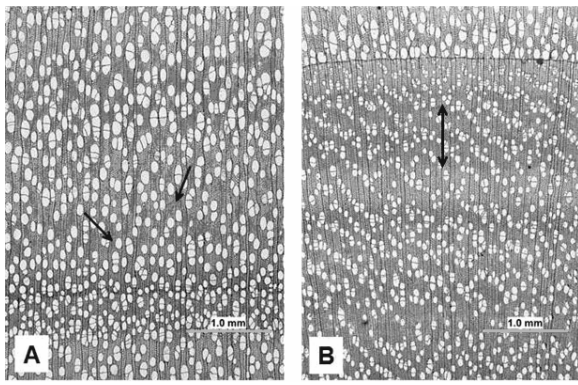
### 1.3 数据分析

利用 Image-Pro Plus6.0 软件测量胶质木纤维的纤维形态及组织比量。纤维形态随机选取 50 根纤维取平均值, 并计算标准差。在 10 倍物镜下随机选取每个切片上包含完整生长轮的 2 条径向带进行组织比量测定, 测量结果求平均值。方差分析、回归方程的建立均在 Microsoft Excel 上进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同品系美洲黑杨胶质木纤维的分布规律

**2.1.1 不同品系美洲黑杨胶质木纤维组织比量的比较** 根据 12 个品系切片(将近 800 个切片)的光学显微图片观察统计, 美洲黑杨胶质木纤维在横切面的分布类型大体可分为星散聚合状和弦向带状, 如图 2 所示。一般胶质木纤维含量较少时呈星散聚合状分布, 较多时则成弦向带状分布。



A: 星散状分布; B: 弦向带状分布; 箭头所示为胶质木纤维

A: G-fiber diffusion; B: G-fiber in tangential bands; arrows show the G-fiber

图 2 胶质木纤维的分布

Figure 2 Distribution of gelatinous fiber (G-fiber)

利用 Image Pro Plus 6.0 软件测量胶质木纤维在每个生长轮中的组织比量, 并以平均值作为衡量每棵树所含胶质木纤维的多少。各品系的美洲黑杨胶质木纤维组织比量在 5.15%~18.83%之间(图 3), 方差分析表明每个品系间胶质木纤维组织比量差异极显著(表 1)。与对照组 NL-351 (8.26%) 比较, 无性系 10-34 (5.16%) 和无性系 7-45 (7.85%) 的胶质木纤维组织比量较小; 其他无性系的胶质木纤维组织比量均大于对照组, 其中无性系 4-45 最大。由于胶质木纤维会影响木材的加工, 推测胶质木纤维含量高的品系木材较难加工, 易出现夹锯现象。

2.1.2 不同品系美洲黑杨胶质木纤维组织比量的径

向变化 对 12 个品系的美洲黑杨胶质木纤维组织比量随生长轮变化总体呈由髓心至外侧逐渐减小趋势(表 2), 胶质木纤维组织比量的最大值一般出现在第 1~3 个生长轮中(4-45 除外)。其中, 10-34、8-9、4-50、7-38、4-6 和 7-45 这 6 个品系, 胶质木纤维在第 1 个生长轮中含量最高, 对照组、2-2 和 1-20 这 3 个品系在第 2 个生长轮中胶质木纤维组织比量最大, 7-53 在第 3 个生长轮中胶质木纤维组织比量最高。这可能是由于黑杨生长早期, 树木直径小, 但杨树树叶大而密, 易受风力作用而摆动, 树干因此受到应力作用而形成胶质木纤维。随着树龄的增大, 树干不断加粗, 在风力作用下发生摆动的可能性和幅度减小, 受到应力变小, 故随着树龄的增加生长轮中的胶质木纤维组织比量不断减小。由于风力并非长期作用, 导致美洲黑杨木材并未发生偏心, 但仍存在一定的胶质木纤维分布。4-45 较为特殊, 在第 1 至第 8 个生长轮中胶质木纤维组织比量都很高, 最大值出现在第 6 个生长轮中, 直至第 9 年胶质木纤维组织比量才开始下降。这可能是由于 4-45 品系树木在生长过程中生长内应力较大所致。对 12 个品系对应年轮中胶质木纤维含量求平均值, 得到该 12 个品系美洲黑杨胶质木纤维组织比量径向变化的规律: 从髓心开始, 随着树龄的增大, 胶质木纤维的组织比量逐渐下降(图 4)。对组织比量的变化规律与生长轮龄进行回归分析, 回归方程为:  $y=0.0799x^2-2.1846x+20.583$ ,  $R^2=0.9946$ , 相关性非常显著。

表 1 美洲黑杨 12 个无性系间胶质木纤维组织比量方差分析

Table 1 Variance analysis of G-fiber proportion in 12 clones

差异来源 Source of variation	离差平方和 SS	自由度 DF	均值 Mean	F	Sig.
组间差异 Difference between inter-groups	643.595	11	58.509	8.615	0.000
组内差异 Difference between intra- group	162.993	24	6.791		
总变异 Total variation	806.589	35			

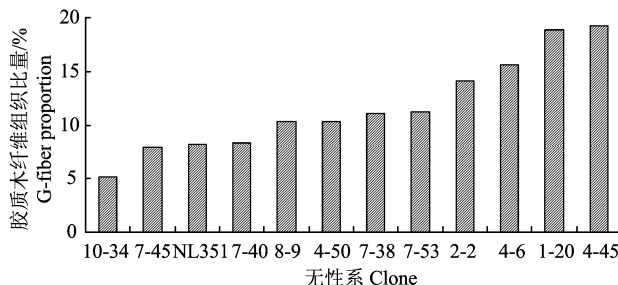


图 3 12 个美洲黑杨无性系正常材中胶质木纤维组织比量  
Figure 3 G-fiber proportion in normal wood of 12 clones

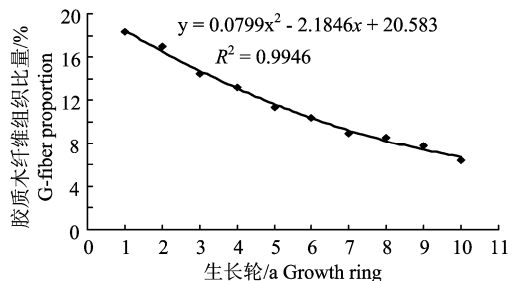


图 4 12 个美洲黑杨无性系正常材胶质木纤维平均组织比量的径向变异规律

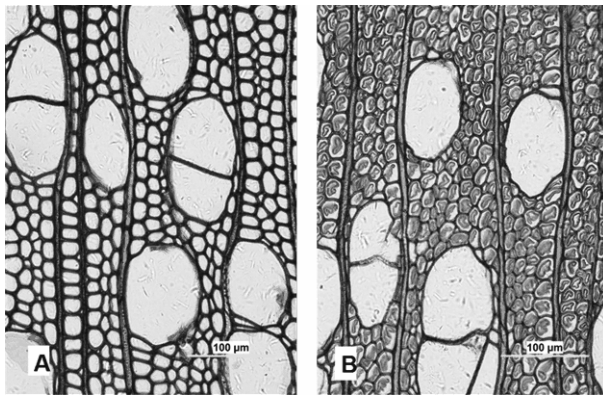
Figure 4 Radial variation of average proportion of G-fiber in normal wood of 12 clones

表 2 美洲黑杨 12 个无性系间胶质木纤维组织比量的径向变异

Table 2 Radial variation of G-fiber in normal wood of 12 clones

%

无性系 Clone	生长轮 Growth ring									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10-34	11.62	8.27	6.42	5.05	3.50	3.88	4.08	3.86	3.28	1.60
8-9	18.89	15.51	10.60	13.83	9.95	7.78	7.29	5.25	9.60	4.51
4-50	22.40	12.31	10.66	10.71	9.52	8.33	9.32	9.03	5.90	5.14
7-38	17.81	16.82	13.02	13.06	11.68	10.39	10.57	5.91	4.89	7.64
4-6	30.07	21.71	15.09	17.74	14.38	13.99	11.13	10.77	11.72	9.76
7-40	15.03	14.74	10.37	13.08	11.11	5.46	4.49	3.65	3.56	2.82
7-45	16.32	14.50	11.48	9.18	7.93	6.81	3.67	3.28	2.79	2.52
NL351	10.53	13.78	11.55	12.17	7.31	7.70	3.58	6.72	4.84	4.41
2-2	20.62	21.09	20.90	11.71	11.68	11.59	10.02	11.97	9.81	11.05
1-20	23.87	30.05	26.74	19.03	18.22	17.35	14.53	13.36	13.19	11.93
7-53	13.19	15.76	17.99	14.10	12.11	11.51	8.24	8.74	6.92	4.45
4-45	19.31	19.24	19.27	19.16	19.46	19.64	19.53	19.45	17.15	10.89

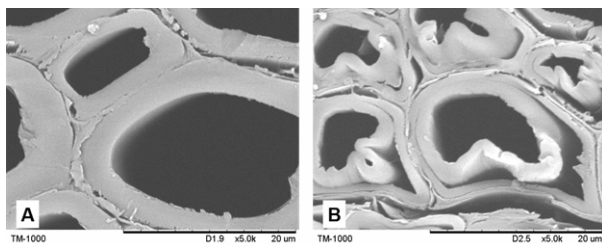


A: 美洲黑杨正常纤维横切面形态; B: 美洲黑杨胶质木纤维横切面形态

A: cross section of normal fiber from *Populus deltoides*; B: cross section of G-fiber from *Populus deltoides*

图 5 番红固绿双染色后正常木纤维及胶质木纤维在横切面的形态

Figure 5 Comparison of G-fiber and normal fiber in cross section



A: 美洲黑杨正常纤维横切面形态; B: 美洲黑杨胶质木纤维横切面形态

A: cross section of normal fiber from *Populus deltoides*; B: cross section of G-fiber from *Populus deltoides*

图 6 扫描电镜下正常木纤维及胶质木纤维在横切面形态

Figure 6 SEM observation of G-fiber and normal fiber in cross section

## 2.2 正常木纤维与胶质木纤维的解剖特征

横切面上, 美洲黑杨的正常木纤维细胞壁厚, 木质素含量较高, 在番红固绿双染色下细胞壁呈红色(图 5-A)。胶质木纤维有胶质层是向着胞腔的一个内衬, 与正常次生壁没有紧密结合而是松弛附着, 甚至由胞腔中突出, 它的外形是皱曲或膨胀状如凝胶类物质, 填充在纤维腔内。采用传统的滑动切片机所制作的切片厚度在 10~20  $\mu\text{m}$ , 因此往往可以观察到胶质层分离的现象(图 5-B)。胶质层的木质素含量低, 纤维素含量高, 在番红固绿双染色下, 胶质木纤维的胶质层通常被染成绿色, 其余壁层被染成红色, 但由于胶质层在胶质木纤维壁中占绝大部分, 因而在显微切片上很容易区分开来。扫描电镜下, 观察到正常木纤维细胞壁与胞间层紧密分离(图 6), 而胶质木纤维细胞的胶质层与次生壁分离。这种分离并非是胶质层的真实状态, 而是一种在切片过程中造成的人为破坏结果<sup>[13]</sup>。

将挑选出的 5 组处于相同生长轮 (髓心起第 3 轮) 的木样离析, 测量并统计正常木纤维及胶质木纤维的长宽, 数据见表 3。由表 3 可知美洲黑杨无性系自髓心起第 3 个生长轮中木纤维平均长度(836.03  $\pm$  171.54) mm, 宽 (24.91  $\pm$  4.59) mm。比较这 5 组中正常木纤维和胶质木纤维的长度以及宽度, 发现正常木纤维和胶质木纤维之间的长宽存在一定的差异, 但并无明显的规律。本试验试样为非偏心中的胶质木纤维, 但其形成仍由于生长应力的作用, 也应是应力产生的胶质木纤维。关于应拉木纤维与正常木纤维的宽度和长度之间的比较存在争议<sup>[10]</sup>, 实验结果表明正常木纤维和胶质木纤维长宽存在一

定差异,但5组比较组中长宽的差异无明显的规律性,A、B和E组胶质木纤维长于正常木纤维,C和D组胶质木纤维长度小于正常木纤维;C组胶质木纤维宽度小于正常木纤维,其余4组胶质木纤维长度均小于胶质木纤维。单因素方差分析表明仅B

组胶质木纤维和正常木纤维长度差异性显著,其余各组差异性均不显著;C组胶质木纤维和正常木纤维宽度差异性显著,其余各组差异性也均不显著,与部分学者所认为的胶质木纤维的长宽与正常木纤维的无明显差异一致<sup>[14]</sup>。

表3 5组正常木纤维与胶质木纤维长宽比较

Table 3 Comparison of anatomical feature of 5 groups between G-fiber and normal fiber

项目 Item		A	B	C	D	E
长度	胶质木纤维 G-fiber	834.61±118.88	899.83±146.50	828.43±132.63	876.10±119.36	861.76±111.57
Length	正常木纤维 Normal fiber	802.64±134.89	801.12±146.69	846.95±155.33	934.48±200.48	827.89±125.04
	<i>P</i> value	0.209	9.3×10 <sup>-4</sup> **	0.21	0.080	0.516
宽度	胶质木纤维 G-fiber	22.71±5.22	24.50±4.00	23.47±5.17	26.56±4.99	27.18±5.12
Width	正常木纤维 Normal fiber	22.40±3.46	23.91±3.64	25.47±4.83	25.79±3.66	27.09±5.78
	<i>P</i> value	0.727	0.385	0.047*	0.38	0.933

### 3 结论

12个品系的美洲黑杨无性系胶质木纤维组织比量存在极显著差异。其中无性系10-34和7-45胶质木纤维组织比量低于对照组NL351杨。

胶质木纤维在横切面的分布主要有2种类型:星散聚合状及弦向带状。随着生长轮龄的增加,12个美洲黑杨无性系胶质木纤维组织比量呈逐渐减小的趋势,回归方程为: $y=0.0799x^2-2.1846x+20.583$ , $R^2=0.9946$ ,相关性非常显著。

不同品系美洲黑杨的非偏心木材相同生长轮中胶质木纤维和正常木纤维的长度、宽度差异大多不显著且无明显规律性。

### 参考文献:

- [1] 徐有明,翁文源,张友华. 美洲黑杨不同径级木材纤维、导管形态及其基本密度的差异[J]. 安徽林业科技, 2011, 37(1): 2-9.
- [2] 刘忠华,胡俊,代先钊. 美洲黑杨优良无性系NL-80351推广初报[J]. 湖北林业科技, 2006(6): 29-31.
- [3] Farmer R E, Wilcox J R. Preliminary testing of eastern cotton wood clones[J]. Theoretical and Applied Genetics, 1968, 38: 197-201.
- [4] Olson J R, Jourdain C J, Rousseau R J. Selection for cellulose content, specific gravity and volume in young *Populus deltoides* clones[J]. Can For Res, 1985, 15: 393-396.
- [5] 潘惠新,黄敏仁,阮锡根,等. 材性改良研究Ⅶ美洲黑杨×小叶杨新无性系木材密度性状早期选择研究[J]. 林业科学, 1998, 34(1): 73-80.
- [6] 曹福亮. 林分密度对南方型杨树木材性质的影响[M]. 北京: 中国林业出版社, 1997: 148-151.
- [7] 童再康,俞友明,郑勇平. 黑杨派新无性系木材物理力学性质研究[J]. 林业科学研究, 2002, 15(4): 450-456.
- [8] Bowling A J, Vaughn K C. Immunocytochemical characterization of tension wood: gelatinous fibers contain more than just cellulose[J]. American Journal of Botany, 2008, 95(6): 655-663.
- [9] 罗蓓,聂梅凤. 水曲柳枝桠材应力木的年轮偏向性分析[J]. 山东林业科技, 2010(2): 6-8.
- [10] 周亮,刘盛全,高慧,等. 欧美杨107正常木与应拉木纤维形态和化学组成比较[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2012, 40(2): 74-70.
- [11] Lautner S, Zollfrank C, Fromm J. Microfibril angle distribution of poplar tension wood[J]. IAWA Journal, 2012, 33(4): 431-439.
- [12] 李正理. 植物制片技术[M]. 2版. 北京:科学出版社, 1984.
- [13] 方长华. 胶质层对杨树应拉木生长应力和木材材性的影响[D]. 合肥:安徽农业大学, 2007.
- [14] Wardrop A B, Dadswell H E. The nature of reaction wood: IV. Variations in cell wall organization of tension wood fibres[J]. Australian Journal of Botany, 1955(3): 177-189.