

中国特有濒危植物崖柏的木材结构研究

唐熙^{1,2}, 李振宇², 胡玉熹²

(1. 福建教育学院, 福州 350001; 2. 中国科学院植物研究所, 北京 100093)

摘要: 应用光学显微镜和扫描电子显微镜, 首次对中国特有濒危植物崖柏的木材结构进行了研究, 其主要特征为: 生长轮中早材至晚材急变, 晚材带较窄; 轴向管胞较短, 平均长度 1.61 ± 0.22 mm (早材管胞) 至 1.74 ± 0.26 mm (晚材管胞), 具缘纹孔单列, 在纹孔缘外表面及其周围偶见少量稀疏瘤状物; 交叉场纹孔为杉木型, 2~6(8)个; 木射线单列, 高 1~11(2~5)个细胞, 每平方毫米具 65~70 条木射线, 端壁节状加厚和凹痕均较明显; 木薄壁组织细胞多分布在晚材带中, 端壁节状加厚略明显。崖柏与该属的木材结构特征基本相符。在讨论中还与崖柏属其余 4 个种的木材结构特征作了详细比较。

关键词: 崖柏; 木材结构; 管胞; 具缘纹孔; 交叉场; 扫描电镜

中图分类号: Q949.66; Q944.5

文献标识码: A

文章编号: 1000-470X(2005)02-0149-05

Wood Anatomy of *Thuja sutchuenensis* Endemic to China

TANG Xi^{1,2}, LI Zhen-Yu², Hu Yu-Xi²

(1. Fujian Institute of Education, Fuzhou 350001, China; 2. Institute of Botany, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China)

Abstract: The wood anatomy of *Thuja sutchuenensis*, an endangered plant endemic to China, is observed for the first time under optical and scanning electron microscopes. Growth rings are delineated by a narrow darker band of thick-walled latewood tracheids with abrupt transition from earlywood (EW) to latewood (LW). Longitudinal tracheids are relatively short with an average value of 1.61 ± 0.22 mm in EW tracheids and 1.74 ± 0.26 mm in LW tracheids. The bordered pits are mostly uniseriate, warty layer occasionally occurred on the pit margo. Cross fields are predominantly taxodioid with 2—6(8) pits. Xylem rays are mostly uniseriate with 1—11(2—5) cells in height and 65—70 rays per mm² in density, among which nodular and indenture structure is apparent. The observation shows that the main characters of *T. sutchuenensis* wood are similar to those in other four species of this genus, providing evidence for the further investigation of *T. sutchuenensis*.

Key words: *Thuja sutchuenensis*; Wood anatomy; Tracheid; Bordered pit; Cross field; SEM

崖柏(*Thuja sutchuenensis* Franch.), 又称四川侧柏、崖柏树, 为柏科崖柏属常绿灌木或乔木。1892年4月, 法国传教士 Farges 曾在我国重庆市城口县海拔 1400 m 的石灰岩山地采到该种植物的标本, 但尚未采集到球果^[1]。在此后的 100 余年间, 国内外再无人采到此种植物的标本。《中国植物红皮书》第 1 卷^[2]、英文版的《中国植物志》(裸子植物) 第 4 卷^[3], 以及国际自然与自然资源保护联盟(IUCN)编写的

《全球松杉类植物红皮书》中均已将其定为野外已灭绝的物种^[4], 且无引种栽培记录。然而值得庆幸的是, 在 1999 年 10 月, 由重庆市林业局组织的“重庆市国家重点保护野生植物骨干调查队”到城口县进行调查时, 在大巴山腹地又重新发现了已经消失 107 年的崖柏植物, 并同时采到带有球果的标本^[5]。

崖柏属(*Thuja*)在全世界共有 5 个种^[5]。长期以来, 人们已对崖柏属, 以及该属中的北美香柏

收稿日期: 2004-08-17, 修回日期: 2005-01-03。

基金项目: 中国科学院创新重点项目(KSCXZ-SW-108)资助。

作者简介: 唐熙(1962—), 女, 副教授, 硕士, 主要从事植物学教学和研究工作。

(*T. occidentalis*)、北美乔柏(*T. plicata*)、朝鲜崖柏(*T. koraiensis*)和日本香柏(*T. standishii*)等4种木材结构进行了大量研究^[6-15],而对特产于我国的崖柏,由于已被列为野外灭绝种,木材标本无法获取,故使其木材结构的研究一直未见报道。笔者首次对崖柏的木材结构进行了系统的研究,并与本属其余4种作了对比分析,从而为该特有种以及崖柏属的进一步研究提供了重要的参考资料。

1 材料与方法

1.1 材料

崖柏的木材采自四川城口县明中乡龙门村,树高约为10 m,树干胸径约8 cm,树龄达50年。腊叶标本由李振宇、刘正宇和谭杨梅采集,标本编号为11304,木材标本由李振宇提供,均存于中国科学院植物研究所标本馆(PE)。

1.2 方法

木材切片 将边材沿不同方向切成1 cm³左右的小木块,放入10%的乙二胺溶液中,置于50℃温箱中软化2~3 d^[16]。清水冲洗后,经聚乙二醇(4000)渗透、包埋,并在滑走切片机上分别切成横向、径向、弦向切片,厚度为18~20 μm,番红染色,梯度酒精和二甲苯脱水,中性树胶封片。

细胞离析 将木材切成1~2 mm大小的小条,用Jeffrey法离析^[17],清水洗后,番红染色,酒精和二甲苯脱水,中性树胶封片。

显微观察、照相和测量 木材切片及离析材料分别置于Axioskop 40型显微镜下观察并照相。在光学显微镜下,用目镜测微尺测量木射线长度、宽度、轴向管胞长度、直径和壁厚,具缘纹孔直径,以及单位面积中的木射线和管胞数量等,上述各类数据分别测量30~100个,并计算其平均值。

扫描电镜观察 将上述经乙二胺溶液软化后的材料,分别切成3 mm×3 mm×0.1 mm大小的横向、径向和弦向3个方向的薄切片,逐级酒精脱水自然干燥后,真空喷镀全膜,最后移入SEM XL 30s-FEG型场发射扫描电镜样品室中,观察并照相。

2 观察结果

2.1 粗视结构

树皮红褐色,裂成条状或片状浅裂剥落。木材轻软、柔韧。心边材区别明显,边材色浅,宽2.2 cm,黄白色;心材半径1.8 cm,黄褐色。纹理直。结构细而均匀。花纹由生长轮引起,在径面上呈平行条纹,弦

切面上呈倒“V”形或抛物线形。木射线斑纹可见,但在径面上不形成显著花纹。木材略具光泽,有柏木香气、味微苦。

2.2 显微结构

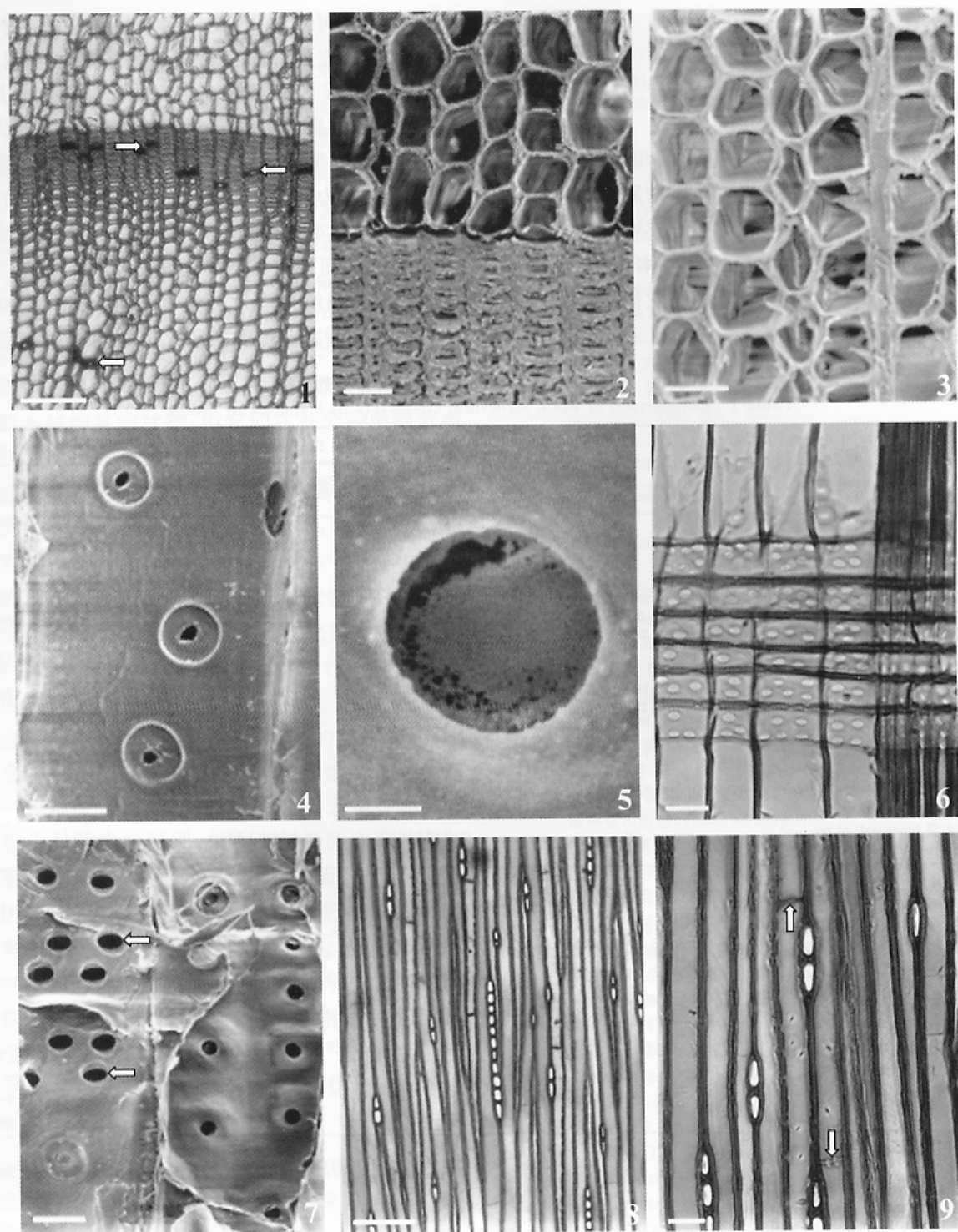
生长轮明显。每个生长轮中的早材至晚材为急变,早材带占生长轮的大部分,晚材带狭窄,且致密,色较深,与早材带区别明显(图1:1,2)。每厘米有生长轮8~16个。

早材管胞在横切面上,呈长方形至略方形,少有胞间隙,排成整齐的径列(图1:3)。最大弦向直径达38 μm,大多为17.44~31.55 μm,平均25.04±3.73 μm;壁厚1.70~2.90 μm,平均2.24±0.55 μm。每平方毫米约具1500个管胞。早材管胞长度1.21~2.12 mm,平均1.61±0.22 mm。管胞径壁具缘纹孔呈圆形,1列(图1:4),偶见成对,直径12.10~16.79 μm,平均14.53±1.27 μm。弦向壁上具缘纹孔直径4.37~8.06 μm,平均6.52±0.93 μm,单列。晚材管胞在横切面多呈横向伸长的四边形,最大弦向直径为32 μm,多数11.07~27.84 μm,平均16.72±4.06 μm;壁厚4.03~5.52 μm,平均4.81±0.46 μm。晚材管胞长度1.39~2.12 mm,平均1.74±0.26 mm。管胞内壁未见瘤层(图1:4)。管胞具缘纹孔的纹孔塞不明显,偶见在纹孔缘外表面及其周围有少量瘤状物,其大小为85~260 nm(图1:5)。

交叉场纹孔为杉木型(图1:7)。早材交叉场纹孔2~6(8)个,直径4.15~7.72 μm,平均5.74±0.88 μm,排成1~2(3)列(图1:6)。晚材交叉场纹孔2~4个,直径2.35~3.37 μm,平均2.64±0.31 μm。由早材管胞胞腔一侧看,交叉场纹孔口的外形、大小略一致(图1:7),而由早材至晚材则明显变小。自薄壁组织细胞一侧看,纹孔缘明显比纹孔口狭窄。

木射线都由射线薄壁组织细胞组成,射线单列,每毫米具5条射线,每平方毫米具65~70条射线,180~190个射线薄壁组织细胞。射线高1~11个细胞,多数为2~5个细胞,细胞高8.08~22.98 μm,平均15.66±3.12 μm,宽3.36~8.28 μm,平均5.74±1.25 μm。射线细胞长椭圆形或卵圆形(图1:8,9)。射线细胞中有时含有树脂状物质。射线薄壁细胞水平壁略厚,约1.50~2.00 μm,纹孔明显;端壁节状加厚略具明显。凹痕明显至略明显。

轴向木薄壁组织细胞多呈散状分布于晚材带中,一般数量不多,每平方毫米仅约30个(图1:1);端壁节状加厚略明显。在细胞腔中常含有深色的树



1、6、8、9 为光学显微镜照片；2、3、4、5、7 为扫描电子显微镜照片。1. 木材的横切面，显示生长轮明显，箭头示木薄壁细胞 (bar=100 μm)；2. 横切面上的早材管胞和晚材管胞 (bar=25 μm)；3. 早材管胞横切面 (bar=25 μm)；4. 管胞上的具缘纹孔 (bar=10 μm)；5. 具缘纹孔缘瘤状物 (bar=1 μm)；6. 交叉场纹孔 (管胞一侧) (bar=25 μm)；7. 交叉场纹孔，箭头示杉木型交叉场纹孔 (bar=10 μm)；8. 木材的弦切面，表示射线以单列为主 (bar=100 μm)；9. 木材的弦切面，可见端壁节状加厚 (bar=25 μm)

1, 6, 8, 9 photos of optical; 2, 3, 4, 5, 7 photos of SEM. 1. Transverse section of wood, showing distinct growth rings. Arrows indicate wood parenchyma (bar=100 μm); 2. Earlywood tracheids and latewood tracheids in the transverse section (bar=25 μm); 3. Transverse section of earlywood (bar=25 μm); 4. Bordered pits of the tracheid (bar=10 μm); 5. Wart on the pit margo (bar=1 μm); 6. Cross-field pit (on the tracheid side) R (bar=25 μm); 7. Cross field pits, arrows indicate taxodioid pits (bar=10 μm); 8. Tangential section showing uniseriate rays (bar=100 μm); 9. Tangential section with nodular thickness (arrows) (bar=25 μm)

图1 崖柏木材的显微结构图

Fig. 1 The microscopic structure of *Thuja sutchuenensis* wood samples

脂类物质。

树脂道缺如。

3 讨论

有关裸子植物木材结构的研究,以往在国内外已有大量的报道^[18],其中对柏科崖柏属木材显微结构特征和超微构造特征也有不少描述^[6,8,12,14]。崖柏木材结构的主要特征与该属特征基本相符,并与本属其余 4 种有所差别。关于崖柏与它们木材结构特征的比较,详见表 1。

从表 1 可以看出,崖柏与本属其它 4 个种在木材结构上的主要特征差别,其中包括轴向管胞长度、木射线的高度和交叉场纹孔的列数等在数量上有所不同。例如,崖柏的轴向管胞长度明显短于北美香柏,并不到北美乔柏管胞长度的一半,每平方米管胞数量也仅为前两者的三分之一,朝鲜崖柏的五分之一,而与日本香柏的相近。每平方米木射线条数及木射线的细胞数目均小于其它 4 种。崖柏与其余 4 种的交叉场纹孔均为杉木型,但 Phyllips^[8]和 Gre-guss^[9]则分别在北美香柏和北美乔柏晚材中观察到

表 1 崖柏属 5 种植物木材主要结构特征的比较
Table 1 Comparison of wood structural characters of 5 species in *Thuja*

特征 Characteristics	种 名 Species name				
	崖柏 <i>T. sutchuenensis</i>	北美香柏 <i>T. occidentalis</i>	北美乔柏 <i>T. plicata</i>	朝鲜崖柏 <i>T. koraiensis</i>	日本香柏 <i>T. standishii</i>
管胞 Tracheid					
管胞数/mm ² Tracheid number/mm ²	1500	4600	4800	8000	1500
早材管胞 Early wood					
平均长度 Average length (mm)	1.61±0.22	2.04	4.05		
弦向直径 Tangential diameter (μm)	25.04±3.73	24	22		30~36
弦向壁厚 Tangential wall thickness (μm)	2.24±0.55	3.7	2.4		
纹孔列数 Pit number	1	1	1(2)	1	1(2)
具缘纹孔直径 Bordered pit diameter (μm)					
径向壁 Radial wall	12.10~16.79	10~13	8~16	10~15	12~14
弦向壁 Tangential wall	4.37~8.06	6~8	8~11		4~5
晚材管胞 Latewood					
平均长度 Average length (mm)	1.74±0.26	2.13	4.20		
弦向直径 Tangential diameter (μm)	16.72±4.06	23	20		
弦向壁厚 Tangential wall thickness (μm)	4.81±0.46	3.8	3.4		
瘤状物 Wart					
管胞内壁 Inner wall of tracheid	—	— + **	(+)(+)**		
具缘纹孔 Bordered pit	(+)	(+)	(+)		
木射线 Wood ray					
列数 Number	1	1	1	1(2)	1
射线条数/mm ² Ray number/mm ²	65~70	70~75	90~95	120~130	100~110
射线细胞数/mm ² Ray cell number/mm ²	180~190	230~240	250~256	400~410	240~250
高度(细胞数) Ray high (cells)	1~11 (2~5)	1~4(18)	2~7(1~12)	1~4(10)	1~5(15?)
高度 Ray height (μm)	8.08~22.98	8~18(24)	8~13	8~18(24)	9~22
宽度 Ray width (μm)	3.36~8.28	4~8	2~5	5~10	3~11
射线管胞 Rays tracheid	(+)	+		+	
端壁节状加厚 End-wall nodular	(+)	—		+	— +
水平壁纹孔 Pits in horizontal wall	+	+		+	++
凹痕 Indenture	++	++	+	++	++
交叉场纹孔 Crossfield					
类型 Type					
杉木型(早材)Taxodioid type (earlywood)	+	+	+	+	+
柏木型(晚材)Cupressoid type (latewood)	—	+ *	+		
数目 Number	2~6(8)	2~3(4)	2~4(1~6)	1~2(3~4)	2~4(1~6)
纹孔直径 Pit diameter (μm)					
早材 Earlywood	5.74±0.88	4~6	6~8	4~6	4~6
晚材 Latewood	2.64±0.31				
列数 Number	1~2(3)	2~3	1~2	1~2(3~4)	1~2(3)
瘤状物 Wart	—		(+)	—	
木薄壁组织细胞 Wood parenchyma cell					
端壁节状加厚 Nodular end-wall	+	+		+	+
参考文献 References					
	[9]	[14]	[9]	[14]	[9]

注: ‘—’ 未见; ‘(+)’ 罕见、偶见; ‘+’ 常见、明显; ‘++’ 很明显; * 引用自参考文献[8]; ** 引用自参考文献[10]。
Notes: ‘—’ never observed; ‘(+)’ rarely/occasionally observed; ‘+’ regularly observed / obvious; ‘++’ evident; * see reference[8]; ** see reference[10].

具柏木型的交叉场纹孔。

20世纪50~60年代,Liese通过透射电镜先后观察了160多种松杉类植物木材管胞内壁的瘤层,他认为瘤层的存在与否,似乎和该类群植物的系统分类无直接联系^[19,20]。然而,姜笑梅和周崑在对99种(11科41属)中国裸子植物木材管胞瘤层进行系统电镜观察^[13],以及Kocon应用扫描电镜对北美香柏和北美乔柏等4种柏科植物木材瘤状物进行观察^[10,11]后,他们均认为瘤状物的特征可作为裸子植物木材分类的依据。我们在扫描电镜下,通过对崖柏木材结构的观察,以及根据上述的文献报道表明,崖柏属的木材均具瘤状物,但它们在各个种中的分布位置和出现几率上有所差别(见表1)。例如,北美香柏和北美乔柏的具缘纹孔表面均具瘤状物,而管胞内壁的瘤状物在北美香柏中未见^[14],或常见^[10];在北美乔柏中则为罕见^[14],或发育较差^[10];崖柏仅在管胞的具缘纹孔表面偶见稀疏的瘤状物。另外,在交叉场纹孔缘表面偶见瘤状物的仅有北美香柏^[14]。因此,瘤层结构在崖柏属的分种鉴定中也可作为特征的依据之一。

由于崖柏属种间木材结构特征的差别较小,同时有些特征的变异幅度又较大,因此给其分种鉴定带来一定难度。例如Slyper曾认为,北美香柏与日本香柏木材结构的区别,仅在于前者的木薄壁组织细胞横向壁未加厚,或近似平滑^[21]。而Bannan则发现,北美香柏木薄壁组织细胞的横向壁有时平滑,但更为常见的是其横向壁明显加厚或呈念珠状^[7]。另外,Greguss也认为,北美香柏和日本香柏之间在木材结构上的差别,只是木射线高度和射线细胞形状,以及交叉场纹孔的类型和数量不同^[9]。由上可见,在鉴别崖柏属种间的木材结构时,应综合更多的显微结构和超微结构的特征。

致谢:本文是第一作者在中国科学院植物研究所进修期间完成的,在本实验进行过程中,得到了林金星、母锡金等研究员的指导和帮助,在此一并致谢。

参考文献:

- [1] 郑万均,傅立国. 中国植物志(第7卷:裸子植物门)[M]. 北京:科学出版社,1978. 315—321.
- [2] Fu L K, Jin J M. China Plant Red Data Book Rare and Endangered Plant 1[M]. Beijing, New York: Science Press, 1992. 38.
- [3] Fu L K, Yu Y F, Farjon A. Cupressaceae. In: Wu Z Y, Raven P H, eds. Flora of China 4[M]. Beijing: Science Press, & St Louis: Missouri Botanical Garden Press, 1999. 63.
- [4] Farjon A, Page CN. Status survey and conservation action plan[A]. In: Farjon A, Page CN ed. IUCN-SSC Conifer Specialist Group[M]. Gland, Switzerland and Cambridge, UK: IUCN, 1999. 16.
- [5] Xiang Q P, Farjon A, Li Z Y, Fu L K, Liu Z Y. *Thuja sutchuenensis*: a rediscovered species of the Cupressaceae[J]. Bot J Linn Soc, 2002, **139**: 305—310.
- [6] Peirce A S. Systematic anatomy of the woods of the Cupressaceae[J]. Tropical woods, 1937, **49**: 5—21.
- [7] Bannan M W. Wood structure of *Thuja occidentalis*[J]. Bot Gaz, 1941, **103**: 295—309.
- [8] Phillips E W J. The Identification of coniferous woods by their microscopic structure[J]. Jour Linn Soc Lond, 1941, **52**: 259—320.
- [9] Greguss P. Identification of Living Gymnosperms on the Basis of Xylotomy[M]. Budapest: Akademiai Kiado, 1955. 86—172.
- [10] Kocon J. Occurrence and structure of warty layer in tracheids of *Thuja occidentalis*, *Thuja orientalis*, *Thuja plicata* and *Thujopsis dolabrata*[J]. Bull Pol Acad Sci Biol, 1985, **33** (7—12): 131—134.
- [11] Kocon J. Structure and ultrastructure of the wart layer in tracheids of northern white cedar (*Thuja occidentalis*) studies under the SEM. [J]. Folia Forest Pol, Series A, 1986, **28**: 25—28.
- [12] 成俊卿. 中国裸子植物木材的解剖性质和用途[M]. 北京: 中国林业出版社, 1958. 45—74.
- [13] 姜笑梅, 周崑. 中国裸子植物木材管胞瘤状层的电镜观察[J]. 林业科学, 1989, **25**(1): 58—65.
- [14] 周崑, 姜笑梅. 中国裸子植物木材的木材解剖学及超微构造[M]. 北京: 中国林业出版社, 1994. 445—450.
- [15] 江泽慧, 彭镇华. 世界主要树种木材科学特性[M]. 北京: 科学出版社, 2001. 356—358.
- [16] 林金星. 木材制片技术的改进[J]. 植物学通报, 1993, **10**(3): 61—64.
- [17] 李正理. 植物组织制片学[M]. 第3版. 北京: 北京大学出版社, 1996. 91—92.
- [18] 胡玉焱, 林金星. 裸子植物木材解剖的研究进展[J]. 植物学通报, 1993, **10**: 81—91.
- [19] Liese W. The warty layer[A]. In: Cote wW A Jr ed. Cellular Ultrastructure of Woody Plants[C]. New York: Syracuse University Press, 1965. 251—270.
- [20] Liese W. The fine structure of bordered pits in softwoods [A]. In: Cote wW A Jr ed. Cellular Ultrastructure of Woody Plants[C]. New York: Syracuse University Press, 1965. 271—290.
- [21] Slyper E J. Bestimmungstabelle für rezente und fossile coniferenholzer nach mikroskopischen Merkmalen[J]. Reueil Trav Bot Neerland, 1933, **30**: 482—513.