

槭属 5 树种木材解剖特征比较分析

刘志红,毋晓洁,解 庆\*

(山西农业大学 林学院,山西 太谷 030801)

**摘 要:**以槭属树种杈叶槭、多齿长尾槭、太白深灰槭、鞑靼槭和五裂槭为材料,比较分析 5 个树种的木材微观结构和亲缘关系,为近缘树种的木材鉴别及分类提供科学依据。结果表明,5 个树种均为小管孔的散孔材,轴向薄壁组织较少。木材微观特征在树种间差异较大。首次发现五裂槭的木射线组织为异形射线组织,包括异形单列、异形Ⅰ型、异形Ⅱ型、异形Ⅲ型,直立射线细胞有榴莲型瓦状细胞和栅状直立细胞 2 类。多齿长尾槭、杈叶槭、太白深灰槭和鞑靼槭为同形射线组织,偶有直立射线细胞。由木射线组织类型,较易将五裂槭与多齿长尾槭、杈叶槭、太白深灰槭和鞑靼槭区分开。五裂槭的轴向薄壁细胞中可见结晶体且导管密度较小,抗性较强,材质较好。5 个槭属植物的木材解剖结构均表现为较原始的特征,其中五裂槭和鞑靼槭进化程度相对较高。经聚类分析,多齿长尾槭、杈叶槭与太白深灰槭先聚为一类,再分别和五裂槭、鞑靼槭相聚;鞑靼槭和其他 4 个树种亲缘关系最近;聚类分析结果支持 5 树种现有的分类关系。

**关键词:**槭属;木材解剖;异形射线组织;瓦状细胞;栅状直立射线细胞;五裂槭

**中图分类号:**S792.35      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2020)04-0179-05

Comparason of Wood Anatomy of Five *Acer* Species

LIU Zhi-hong, WU Xiao-jie, XIE Qing\*

(College of Forestry, Shanxi Agriculture University, Taigu 030801, Shanxi, China)

**Abstract:** The anatomic wood microstructures and genetic relations of *Acer robustum*, *A. caudatum* var. *multiserratum*, *A. caesium* subsp. *giraldii*, *A. tataricum* and *A. oliverianum* were analyzed and compared to provide scientific evidences for wood identification and classification. The result showed that all the five species were diffused porous woods with small pores and less longitudinal parenchyma. Significant differences in wood microstructures were observed among different *Acer* species. Heteromorphic ray tissues of *A. oliverianum* included uniseriate type, heteromorphic ray tissue-Ⅰ, heteromorphic ray tissue-Ⅱ, heteromorphic ray tissue-Ⅲ; upright ray cell included durio type of tile cell and palisade type. While *A. robustum*, *A. caudatum* var. *multiserratum*, *A. caesium* subsp. *giraldii* and *A. tataricum* were homogeneous ray tissues, rare upright ray cells. It was easier to distinguish *A. oliverianum* from other four taxa by the type of wood ray tissue. Longitudinal parenchyma of *A. oliverianum* contained crystals and density of vessel was low, therefore, *A. oliverianum* had stronger resistance and high wood quality. All the five *Acer* taxa were characterized by primitive features. *A. oliverianum* and *A. tataricum* had relatively higher levels of evolution. Cluster analysis indicated that *A. robustum*, *A. caudatum* var. *multiserratum*, and *A. caesium* subsp. *giraldii* were first clustered together, then they were clustered successively with *A. oliverianum* and *A. tataricum*. *A. tataricum* had the farthest genetic relationship to *A. robustum*. The results of the cluster were in accordance with the existing taxonomic relationships.

**Key words:** *Acer*; wood anatomy; heterogeneous ray; tile cell; palisade type of upright ray cell; *A. oliverianum*

收稿日期:2019-06-06 修回日期:2020-01-18  
基金项目:山西农业大学引进人才科研启动基金项目(2015YJ15,2015YJ16)。  
作者简介:刘志红,博士。研究方向:植物分类与遗传育种。E-mail:zhongliu1230@163.com  
\* 通信作者:解 庆,讲师,博士。研究方向:林木遗传育种。E-mail:qingxie183@163.com

槭属(*Acer*)植物具有极强的观赏性、材用、药用和工业用途,有很高的研究价值。亚洲拥有约 90% 的槭属植物,是槭属植物的分布中心。中国有 140 余种槭属树种,种质资源较丰富,为植物资源的开发利用提供了基础条件<sup>[1]</sup>。

目前对于槭属植物的研究多集中在组培、扦插、引种、新品种培育、珍稀濒危种的种群动态以及花粉特征<sup>[2-5]</sup>等方面,对木材微观构造特征研究较少。邓莉兰等<sup>[6]</sup>系统的描述了三翅槭(*A. triatum*)的管孔组合、导管分子长度、管间纹孔类型、轴向薄壁组织类型、木纤维壁厚、木射线种类以及射线组织类型等木材解剖学构造,首次发现三翅槭的木射线中含有大型异细胞,是三翅槭区别于近缘种的明显特征。管孔的分布类型、管孔组合、导管壁是否加厚、木射线细胞类型、轴向薄壁组织类型及内含物等是阔叶树种木材识别的主要特征<sup>[7-9]</sup>,随着仪器设备的更新,在前人研究的基础上<sup>[10-12]</sup>,对杈叶槭(*A. robustum*)、多齿长尾槭(*A. caudatum* var. *multiserratum*)、太白深灰槭(纪氏槭, *A. caesium* subsp. *giraldii*)、鞑靼槭(*A. tataricum*)和五裂槭(*A. oliverianum*)的次生木质部导管、木纤维、木射线、轴向薄壁细胞的大小、分布和排列以及射线组织类型等进行全面的观测比较,为槭属相似树种的木材鉴别以及物理和化学性质的研究提供科学依据,并据此对 5 个树种的亲缘关系进行探讨,为槭属树种的系统分类提供木材解剖学证据。

## 1 材料与方法

杈叶槭、多齿长尾槭、太白深灰槭、鞑靼槭、五裂槭木材样品植株采自陕西秦岭,树龄均在 20 a 以上,取材部位为胸径处圆盘的心材,每树种观察 1~3 个试样。用 DP71-OLYMPUS 电子显微镜成像系统对槭属 5 个树种木材横切片、弦切片和径切片的 29 个相关特征进行观测分析,包括导管壁厚、导管腔径、导管腔径比及导管密度,早材木纤维腔径、壁厚及腔径比,晚材木纤维腔径、壁厚及腔径比,单列木射线高度及轴向细胞数,单列木射线宽度,多列木

射线组织高度及轴向细胞数,多列木射线组织宽度及横向细胞数,单列、双列及多列木射线所占比例等 20 个定量指标;管孔组合、管孔密度、导管壁有无螺旋纹加厚、管间纹孔排列、轴向薄壁组织类型、木射线宽度、木射线高度、木射线类型和木射线组织类型等 9 个定性指标。定量指标测定 30 个重复,定性特征随机观察 5 个视野。

采用 Excel 和 SPSS21.0 软件进行数据整理分析。对 5 个树种 20 个定量性状进行单因素方差分析及多重比较,基于 29 个木材解剖特征进行亲缘关系的聚类分析。木材解剖特征的描述和计算参考 S. Carlquist<sup>[13]</sup>、IAWA<sup>[14]</sup>和解庆<sup>[15]</sup>的方法。

## 2 结果与分析

### 2.1 槭属 5 个树种木材解剖结构

杈叶槭、多齿长尾槭、太白深灰槭、鞑靼槭、五裂槭的木材结构定性特征(表 1,图 1)和定量特征(表 2)存在较明显的种间差异。作为同属树种,均为小管孔的散孔材,导管内未见侵填体;木射线非叠生;轴向薄壁组织较少,多存在于生长轮的终点端,为轮末状离管型轴向薄壁组织。

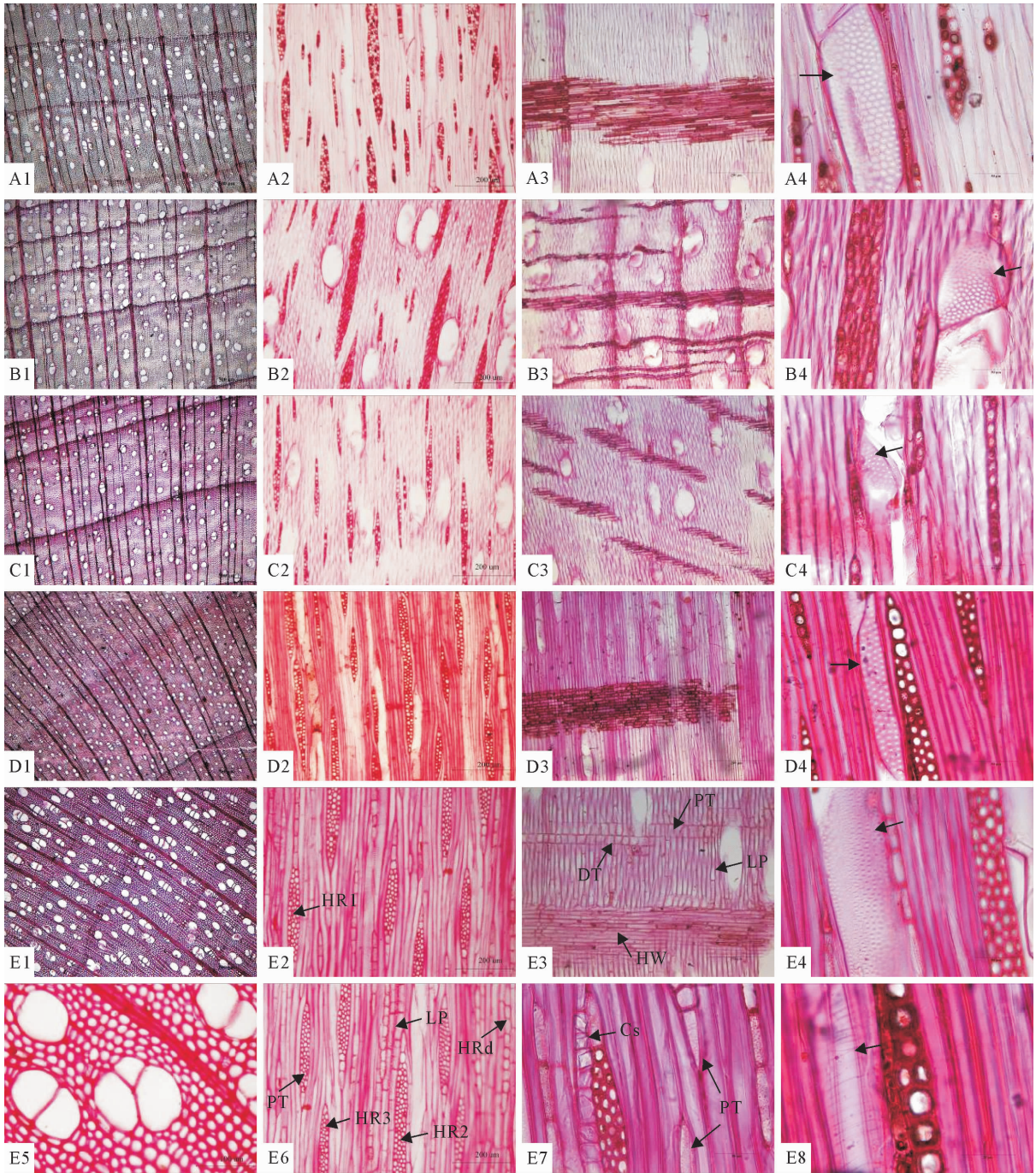
五裂槭有别于其他 4 个树种,在径切面上,除横卧木射线细胞外,可见栅状直立细胞和榴莲型瓦状细胞(图 1-E3),属异形木射线组织;轴向薄壁细胞内可见结晶体(图 1-E7)。

### 2.2 木材解剖结构特征差异分析

槭属 5 树种之间的木材解剖特征单因素方差分析(表 2),除导管壁厚和多列木射线组织宽度 2 个性状的种间差异不明显外,其余 18 个性状均差异极显著。鞑靼槭导管的腔径相对小而分布密集。五裂槭的单列木射线为异形单列,相比其他 4 树种单列木射线高度大而轴向射线细胞数少;多列木射线组织的高度和宽度也大于杈叶槭、多齿长尾槭、太白深灰槭、鞑靼槭,因此,五裂槭的材性最高、更坚硬。根据上述定性、定量特征可以进行树种的区分鉴定。

基于木材解剖特征的 5 树种检索表,如下:

1. 射线组织为异形射线组织,具异形单列、异形 I 型、异形 II 型、异形 III 型,直立射线细胞有榴莲型瓦状细胞和栅状直立细胞 2 类 ..... 五裂槭 *A. oliverianum*
1. 射线组织为同形射线组织,偶有直立射线细胞
2. 导管细长,分布密集;导管壁有螺旋加厚 ..... 鞑靼槭 *A. tataricum*
2. 导管分布略多,导管壁无加厚
3. 具单列和双列木射线,少有多列木射线 ..... 太白深灰槭 *A. caesium* subsp. *giraldii*
3. 多为单列及多列木射线,几乎不见双列木射线
4. 具单管孔、复管孔,偶有管孔团;复管孔由 2 个以上管孔相连呈径向排列 ..... 杈叶槭 *A. robustum*
4. 仅具单管孔和复管孔;复管孔多由 2 个管孔相连呈径向排列 ..... 多齿长尾槭 *A. caudatum* var. *multiserratum*



注: A1~A4. 杈叶槭; B1~B4. 多齿长尾槭; C1~C4. 太白深灰槭; D1~D4. 鞑靼槭; E1~E7. 五裂槭; 1. 横切面; 2. 弦切面; 3. 径切面; 4. 互纹孔; E5. 管孔组合; E6. 异形射线组织; E7. 轴向薄壁细胞内含晶体; E8. 导管壁螺旋加厚。HRd: 异形单列; HR1: 异形 I 型; HR2: 异形 II 型; HR3: 异形 III 型; PT: 栅状直立射线细胞; DT: 榴莲型瓦状细胞; HW: 横卧细胞; LP: 轴向薄壁细胞; Cs: 结晶体。

图 1 杈叶槭、多齿长尾槭、太白深灰槭、鞑靼槭和五裂槭木材解剖结构

Fig. 1 Wood anatomical structure of 5 *Acer* species

2.3 亲缘关系分析

由 SPSS 聚类分析知, 鞑靼槭和五裂槭的平方欧式距离为 81.232(表 3), 大于其他任 2 树种之间的平方欧式距离, 即鞑靼槭和五裂槭的相似性最低。如 5 个树种的聚类关系图(图 2)所示, 多齿长尾槭、杈叶槭与太白深灰槭先聚为一类, 再分别和五裂槭、鞑靼槭相聚, 表明鞑靼槭与其他 4 个槭属树种亲缘关系最远。

3 结论与讨论

阔叶树木材的导管、木射线、木纤维在树种内有比较稳定的特征, 是树种识别的重要依据。五裂槭的木射线组织为异形射线组织, 包括异形单列、异形 I 型、异形 II 型、异形 III 型, 直立射线细胞有榴莲型瓦状细胞和栅状直立细胞 2 类。多齿长尾槭、杈叶槭、太白深灰槭和鞑靼槭为同形射线组织, 偶有直立

表 1 槭属 5 个树种木材解剖定性特征

Table 1 The qualitative characteristics of 5 *Acer* species

性状	杈叶槭	多齿长尾槭	太白深灰槭	鞑靼槭	五裂槭
管孔组合	单管孔、复管孔,偶有管孔团	单管孔、复管孔	单管孔、复管孔,偶有管孔团	单管孔、复管孔,偶有管孔团	单管孔、复管孔、管孔团
管孔密度	略多	略多	略多	多	略多
导管壁螺旋加厚	无	无	无	有	无
管间纹孔排列	互列	互列	互列	互列	互列
轴向薄壁组织类型	轮界状、星散状	轮界状、星散状	轮界状、星散状	轮界状、星散状	轮界状、星散状
木射线宽度	极细木射线	极细木射线	极细木射线	极细木射线	极细木射线
木射线高度	矮木射线	矮木射线	矮木射线	矮木射线	矮木射线
木射线类型	单列,多列,偶有双列	单列,多列,偶有双列	单列,双列,少有多列	单列,双列,多列	单列,多列,少有双列
木射线组织类型	同形单列及多列	同形单列及多列	同形单列及多列	同形单列及多列	异形单列,异形Ⅰ型、异形Ⅱ型、异形Ⅲ型,直立射线细胞有榴莲型瓦状细胞和栅状直立细胞 2 类

表 2 槭属 5 个树种木材解剖定量特征及差异分析

Table 2 The quantitative characteristics of 5 *Acer* species and differential analysis

性状	杈叶槭	多齿长尾槭	太白深灰槭	鞑靼槭	五裂槭	种间差异
导管腔径/ $\mu\text{m}$	50.23±10.92b	62.52±12.50a	60.21±10.44a	37.66±4.60c	66.95±11.47a	0.000**
导管壁厚/ $\mu\text{m}$	1.80±0.80b	2.01±0.71ab	2.39±1.00a	2.09±0.50ab	2.09±0.61ab	0.056
导管腔径比	0.93±0.03a	0.94±0.03a	0.93±0.03a	0.90±0.03b	0.94±0.02a	0.000**
导管密度/(个· $\text{mm}^{-2}$ )	30.93±3.19d	41.00±3.63c	36.67±3.88e	92.43±6.75a	48.03±4.54b	0.000**
早材木纤维腔径/ $\mu\text{m}$	11.65±2.35b	11.56±1.76b	11.18±2.52b	8.37±1.11c	13.83±2.21a	0.000**
早材木纤维壁厚/ $\mu\text{m}$	1.40±0.38b	0.80±0.24c	1.49±0.38b	0.90±0.25c	2.90±0.77a	0.000**
早材木纤维腔径比	0.80±0.05b	0.88±0.04a	0.78±0.07b	0.82±0.05b	0.71±0.06c	0.000**
晚材木纤维腔径/ $\mu\text{m}$	9.25±2.79a	5.70±1.92bc	9.16±2.52a	5.28±1.24c	6.91±1.44b	0.000**
晚材木纤维壁厚/ $\mu\text{m}$	2.62±0.36c	2.58±0.37c	3.51±0.61a	2.99±0.49b	3.36±0.70a	0.000**
晚材木纤维腔径比	0.63±0.07a	0.51±0.08b	0.56±0.09b	0.47±0.06c	0.51±0.08b	0.000**
单列木射线高度/ $\mu\text{m}$	85.12±22.31c	97.03±26.27c	148.77±75.48b	109.24±38.97bc	273.32±120.39a	0.000**
单列木射线轴向细胞数/个	6.87±2.31b	6.70±2.33b	10.00±4.37a	9.13±3.31a	5.73±4.23b	0.000**
单列木射线宽度/ $\mu\text{m}$	9.92±2.40c	14.39±3.36b	10.66±2.48c	9.57±1.64c	18.74±4.76a	0.000**
多列木射线组织高度/ $\mu\text{m}$	224.20±95.15b	301.87±98.93b	248.61±80.46b	264.80±92.75b	483.06±212.94a	0.000**
多列木射线组织轴向细胞数/个	20.00±8.71a	20.27±8.82a	20.03±7.33a	23.67±10.94a	22.00±7.77a	0.424
多列木射线组织宽度/ $\mu\text{m}$	27.82±8.82b	40.34±9.63a	20.32±3.03c	22.91±4.06bc	36.09±6.96a	0.000**
多列木射线组织横向细胞数/个	4.00±1.06a	3.73±0.63a	2.13±0.34b	2.57±0.50b	3.63±0.55a	0.000**
单列木射线所占比例/%	65	76	68	32	41	—
双列木射线所占比例/%	4	2	25	43	16	—
多列木射线所占比例/%	31	22	7	25	43	—

注:平均值±标准差,均值上不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ),\* 在 0.05 水平上差异显著,\*\* 在 0.01 水平上差异极显著。

表 3 槭属 5 个树种平方欧式距离

Table 3 The squared euclidean distance in 5 *Acer* taxa

树种	平方欧式距离				
	CY	DCCW	TBSH	DD	WL
CY	0.000	18.411	25.113	51.433	47.962
DCCW	18.411	0.000	33.099	49.221	44.418
TBSH	25.113	33.099	0.000	41.961	47.150
DD	51.433	49.221	41.961	0.000	81.232
WL	47.962	44.418	47.150	81.232	0.000

注:CY:杈叶槭; DCCW:多齿长尾槭; TBSH:太白深灰槭; DD:鞑靼槭; WL:五裂槭。下同。

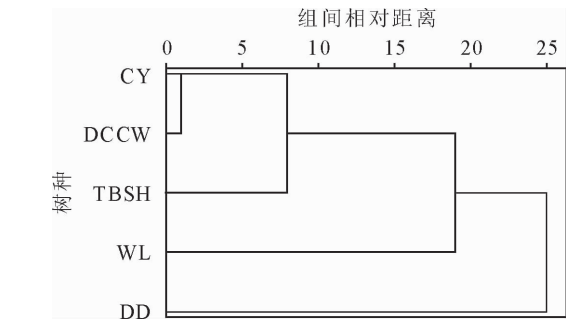


图 2 槭属 5 个树种聚类关系

Fig. 2 Dendrogram of 5 *Acer* species based on wood anatomical structure

射线细胞。由木射线组织类型,较易将五裂槭与多齿长尾槭、杈叶槭、太白深灰槭和鞑靼槭区分开。

五裂槭的轴向薄壁细胞中可见结晶体且导管密度较小,抗性较强,材质较好。李平和张友民<sup>[16]</sup>发现柠筋槭(*A. triflorum*)、假色槭(*A. pseudosieboldianum*)、色木槭(*A. mono*)和茶条槭(*A. ginnala*)的叶表皮细胞和主脉薄壁组织细胞中常含结晶体,使得植株抗性增强。五裂槭茎中含有较多结晶体,抗机械损伤、抗寒和抗旱性能力更强;腔径比越接近 1,材质越适合造纸,密度越小,材质越好,多齿长尾槭的导管腔径比和木纤维管胞腔径比均较接近 1,材质较疏松而更适合造纸。

5 个槭属植物的木材解剖结构均表现为较原始的特征,其中五裂槭和鞑靼槭进化程度相对较高。经典植物分类学中,杈叶槭属于鸡爪槭组鸡爪槭系,多齿长尾槭属于槭属的穗状槭组穗状槭系,太白深灰槭属于槭组绒毛槭系,五裂槭属于小果槭组中华槭系,鞑靼槭属于茶条槭组鞑靼槭系<sup>[1]</sup>。多齿长尾槭、五裂槭、青榨槭(*A. davidii*)和杈叶槭花粉是三孔沟,元宝槭和茶条槭则是较为进化的三沟结构<sup>[17]</sup>;基于花粉形态特征槭属的鸡爪槭组、穗状槭组和小果槭组与较为原始的金钱槭属的关系更近<sup>[18]</sup>,是槭属中较为原始的类群。树木进化程度高的树种含有较多的轴向薄壁细胞,在试验范围内,槭属的 5 个树种均含有较少的薄壁组织。从木射线类型、异形射线组织和直立射线细胞的特点来看,五裂槭最进化。依据木材解剖结构,鸡爪槭组、穗状槭组、茶条槭组、槭组和小果槭组为槭属较为原始的类群,茶条槭组和小果槭组进化程度相对较高。基于木材解剖结构的聚类分析结果与基于孢粉学特征的分类一致,支持植物分类学中五裂槭等 5 树种的分类关系。

参考文献:

[1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 30-32.

[2] 胡佳卉, 王小德. 羊角槭愈伤组织诱导、增殖与分化[J]. 浙江农林大学学报, 2018, 35(5): 975-980.  
HU J H, WANG X D. Induction, proliferation, and differentiation of *Acer yangjuechi* callus [J]. Journal of Zhejiang A&F University, 2018, 35(5): 975-980. (in Chinese)

[3] 李翔, 侯璐, 李双喜, 等. 濒危树种庙台槭种群数量特征及动态分析[J]. 植物科学学报, 2018, 36(4): 524-533.

[4] 王戈戎, 夏富才, 穆怀志, 等. 青楷槭不定根形成的解剖学研究[J]. 北华大学学报: 自然科学版, 2018, 19(4): 453-456.

[5] 康德星. 几种槭属植物花部形态与花粉特性的研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2018.

[6] 邓莉兰, 肖绍琼, 樊国盛. 三翅槭木材解剖学的比较[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2004, 28(1): 98-100.  
DENG L L, XIAO S Q, FANG G S. The comparative anatomy on wood of *Acer trianum* [J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition, 2004, 28(1): 98-100. (in Chinese)

[7] 徐有明. 木材学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2006.

[8] 黄广华, 陈瑞英, 陈居静. 巴里黄檀木材解剖构造、颜色及接触角研究[J]. 西北林学院学报, 2019, 34(2): 234-239.  
HUANG G H, CHEN R Y, CHEN J J. Anatomical structural, color and contact angle of *Dalbergia bariensis* wood [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2019, 34(2): 234-239. (in Chinese)

[9] 孙瑾, 吴鸿, 孙同兴, 等. 17 种樟属树种木材比较解剖研究[J]. 林业科学研究, 2002, 15(5): 521-530.

[10] 雷福娟, 陈桂丹, 黄腾华, 等. 楠木及其相似树种木材构造的比较分析[J]. 西北林学院学报, 2018, 33(2): 180-187.  
LEI F J, CHEN G D, HUANG T H, et al. Comparisontive of the wood structure of *Phoebe* sp. and its similar species [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2018, 33(2): 180-187. (in Chinese)

[11] 李敏华, 李桂兰, 谭必明, 等. 黄连木与紫油木木材解剖特征比较研究[J]. 西北林学院学报, 2012, 27(5): 189-193.  
LI M H, LI G L, TAN B M, et al. Comparative anatomical characteristics of timber between *Pistacia chinensis* and *P. weinmannifolia* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27(5): 189-193. (in Chinese)

[12] 刘志红, 马晓恒, 解庆. 胡桃、野核桃和胡桃楸木材解剖特征比较[J]. 东北林业大学学报, 2019, 47(6): 49-52.

[13] CARLQUIST S. Comparative wood anatomy: systematic, ecological, and evolutionary aspects of dicotyledon wood [M]. Berlin: Springer Verlag, 2001.

[14] IAWA Committee. IAWA list of microscopic features for hardwood identification [J]. IAWA Bulletin New Series, 1989, 10(3): 319-332.

[15] 解庆. 柴松分类地位与遗传多样性研究[D]. 杨陵: 西北农林科技大学, 2015: 38-44.

[16] 李平, 张友民. 四种槭属植物叶的解剖学研究[J]. 北方园艺, 2011(1): 70-72.

[17] 赵先贵, 肖玲, 毛富春. 槭树科花粉形态的研究[J]. 西北植物学报, 1998, 18(2): 101-104.

[18] 田欣, 金巧军, 李德铎, 等. 槭树科花粉形态及其系统学意义[J]. 云南植物研究, 2001, 23(4): 457-465.