

白蜡虫七种寄主植物枝条树皮比较解剖研究

赵杰军^{1,2}, 陈晓鸣^{1,2*}, 王自力², 叶寿德², 王绍云², 陈勇²

(1. 南京林业大学 森林资源与环境学院, 南京 210037; 2. 中国林业科学研究院 资源昆虫研究所, 昆明 650224)

摘要: 采用常规石蜡切片法解剖观察了白蜡虫 7 种寄主植物一年生枝条树皮横切面结构特征, 结果表明: 白蜡虫 7 种寄主植物一年生枝条树皮从内到外由次生韧皮部、初生韧皮部纤维束、皮层和周皮组成; 次生韧皮部横向系统均由筛管、伴胞和薄壁细胞组成; 轴向系统由射线组成。木栓层以美国白蜡和流苏细胞层数最多, 达 10~12 层; 华南小蜡、紫药女贞和白枪杆次之, 为 5~8 层; 女贞和白蜡树最少, 分别为 2~3 和 3~4 层。初生韧皮部纤维束排列整齐连接为带状或分散, 女贞属纤维连接成带状, 白蜡属和流苏属纤维分散。带状纤维层厚薄不均, 厚度在 $26.93 \pm 13 \sim 59.15 \pm 7 \mu\text{m}$ 之间, 以白枪杆纤维层最厚, 为 $59.15 \pm 7 \mu\text{m}$; 美洲白蜡次之, 为 $50.05 \pm 7 \mu\text{m}$; 白蜡树最薄, 为 $26.93 \pm 13 \mu\text{m}$ 。分散型纤维束直径在 $25.12 \pm 13 \sim 76.15 \pm 36 \mu\text{m}$ 之间, 纤维束直径大小顺序为: 流苏 ($76.15 \pm 36 \mu\text{m}$) > 紫药女贞 ($43.44 \pm 10 \mu\text{m}$) > 女贞 ($25.12 \pm 13 \mu\text{m}$)。女贞、紫药女贞和流苏纤维束间距分别为 $78.53 \pm 39 \mu\text{m}$ 、 $149.78 \pm 27 \mu\text{m}$ 和 $212.02 \pm 95 \mu\text{m}$ 。次生韧皮部厚度在 $48.52 \pm 12 \sim 377.44 \pm 24 \mu\text{m}$ 之间, 以女贞的次生韧皮部最厚, 达 $377.44 \pm 24 \mu\text{m}$, 华南小蜡最薄, 为 $48.52 \pm 12 \mu\text{m}$ 。树皮次生韧皮部厚、木栓层数少和纤维束直径小为白蜡虫优良寄主植物的显著特征。

关键词: 白蜡虫; 寄主植物; 树皮; 解剖结构

中图分类号: S899.1, Q944.5 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2012)01-0040-06

Comparative anatomical study of twig barks of seven host plant species of the pela wax scale, *Ericerus pela* (Chavannes)

ZHAO Jie-Jun^{1,2}, CHEN Xiao-Ming^{1,2*}, WANG Zi-Li²,
YE Shou-De², WANG Shao-Yun², CHEN Yong²

(1. College of Forest Resources and Environment Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China;
2. Research Institute of Resource Insects, Chinese Academy of Forestry, Kunming 650224, China)

Abstract: Anatomical structure and characteristics of transverse section of one year twigs of seven host plant species of *Ericerus pela* (Chavannes) were studied by paraffin method. Barks of seven species consisted of periderm, cortex, fibre bundles of primary phloem and secondary phloem from the inner to outer. The secondary phloem consisted of sieve elements, companion cells and phloem parenchyma cells within transverse system and phloem rays within axial system. Among seven host species, *Fraxinus americana* and *Chionanthus retusa* had the thickest phellemes which were composed of 10-12 cell layers, followed by *Ligustrum calleryanum*, *L. delavayanum* and *Fraxinus malacophylla*, of which consisted of 5-8 cell layers, while *F. chinensis* and *Ligustrum lucidum* had the thinnest phellemes,

收稿日期: 2011-08-15 修回日期: 2011-10-30

基金项目: 国家自然科学基金(30771736); 国家科技支撑计划课题(2006BAD06B07); 国家级星火计划项目(2007EA169005); 中国林科院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(riricaf201004M)[Supported by Grants from the National Natural Science Foundation of China(30771736); National Key Technology R & D Program of China(2006BAD06B07); China Spark Program(2007EA169005); Central Public Interests Scientific Institution Basic Research Fund of CAF(Riricaf201004M)]

作者简介: 赵杰军(1973-), 男, 云南洱源县人, 助理研究员, 博士生, 主要研究方向为白蜡虫与寄主职务互作关心。

* 通讯作者: 陈晓鸣, 男, 研究员, 主要研究方向为资源昆虫学, (E-mail) xmchen@vip. km169. net.

which were composed of 2—3 or 3—4 cell layers, respectively. There were two types of fiber bundles of primary phloem, ribbon-like in *Ligustrum* or scattered in *Fraxinus* and *Chionanthus*. Thickness of ribbon-like fibers were different between three *Fraxinus* species; $59.15 \pm 7 \mu\text{m}$ for *F. malacophylla*, followed by $50.05 \pm 7 \mu\text{m}$ for *F. americana*, and $26.93 \pm 13 \mu\text{m}$ for *F. chinensis*. The diameter of scattered fibers of *Fraxinus* and *Chionanthus* were also different, ranging from the widest of $76.15 \pm 36 \mu\text{m}$ for *C. retusa* to the narrowest of $25.12 \pm 13 \mu\text{m}$ for *L. lucidum*. The spacing of fiber bundles of *L. lucidum*, *L. delavayanum* and *C. retusa* were $78.53 \pm 39 \mu\text{m}$, $149.78 \pm 27 \mu\text{m}$ and $212.02 \pm 95 \mu\text{m}$, respectively. Thickness of secondary phloem layers differed wildly among species, ranging from the thickest of $377.44 \pm 24 \mu\text{m}$ for *L. lucidum* to the thickest of $48.52 \pm 12 \mu\text{m}$ for *L. calleryanum*. In summary, host plants with barks featured by thick secondary phloem, thin phelloms, and small diameter fibers are likely to have higher suitability for the wax insect, *E. pela*.

Key words: *Ricercus pela* (Chavannes); Host plant; Bark; Anatomical structure

寄主植物物理结构是防御刺吸式昆虫的首要屏障,叶片、枝条表皮与内部组织结构影响刺吸式昆虫的搜索、刺探和吸食行为(Guerrieri 等,2008;Pollard,1973;Washington 等,1990)。刺吸式害虫寄主植物物理结构研究目的在于发现防御的形态结构特征,培育抗性品种;刺吸式资源昆虫寄主植物物理结构研究目的却相反,旨在弄清楚有利于口器刺探和吸食的结构特征,培育高产的优良寄主植物(Powell 等,2006;Schoonhoven 等,2005)。白蜡虫(*Ericercus pela* (Chavannes))寄主植物种类丰富,资料报道有6科8属29种,生产上常用于放养白蜡虫的寄主植物主要有女贞(*Ligustrum lucidum*)和白蜡树(*Fraxinus chinensis*) (陈晓鸣,2011)。寄主植物树皮是白蜡虫生活场所,也是白蜡虫营养物质的来源。有关白蜡虫寄主植物物理结构的研究方面,张振珏等(1993)报道了白蜡树和女贞皮筛管分子和形成层发育规律,就白蜡虫寄主植物系统比较解剖学缺乏资料报道。在前人研究工作的基础上,对白蜡虫7种寄主植物树皮进行系统的比较解剖,旨在弄清楚白蜡虫主要寄主植物树皮的解剖结构特征及数量性状,为进一步探讨白蜡虫与寄主植物物理结构相互关系提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

寄主植物解剖材料采自云南省景东县中国林业科学研究院资源昆虫研究所景东试验站标本园,采集的寄主植物有:(1)白蜡树属(*Fraxinus*)白蜡树(*F. chinensis*)、白枪杆(*F. malacophylla*)和美洲白蜡(*F. americana*);(2)女贞属(*Ligustrum*)女贞(*L. lucidum*)、紫药女贞(*L. delavayanum*)和华南小蜡

(*L. calleryanum*)和(三)流苏属(*Chionanthus*)流苏(*C. retusa*)。

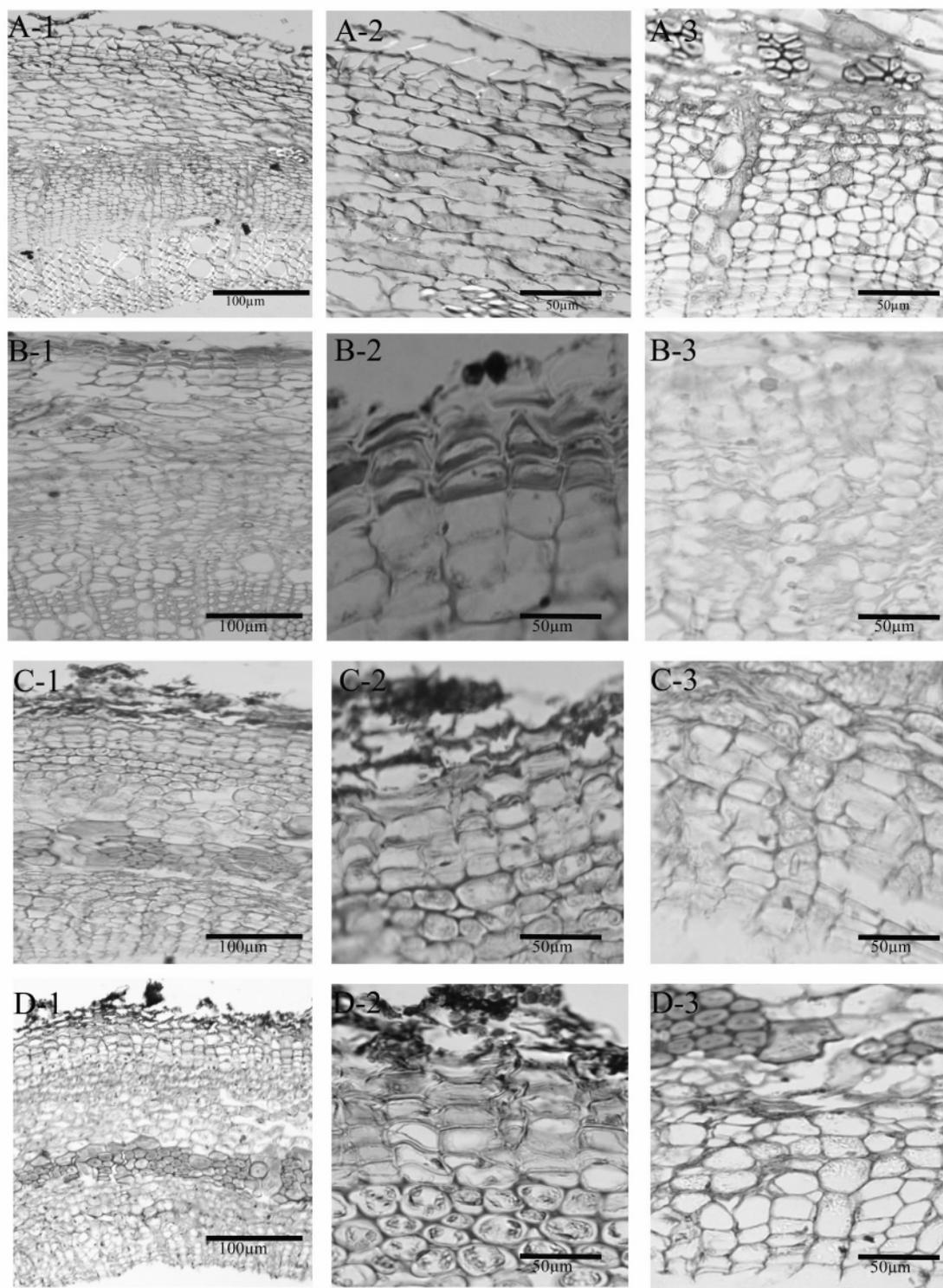
1.2 方法

用于石蜡制片观察的寄主植物均采用未放虫的新鲜材料。取寄主植物同一方位的1年生枝条,先用枝剪将枝条分割为小节,再用单面刀片切割为纵向长0.6 cm,横向长0.3 cm的带木质部的树皮(木质部尽可能的切薄,不触及形成层即可),每寄主植物取样5株,重复3次。样品FAA固定3d,石蜡包埋,切片厚度为8~12 μm ,粘片量为24条/片,番红—固绿对染,Euparal胶封片。NikonE800相差显微系统观察形成层、次生韧皮部、初生韧皮部纤维带、薄壁组织、皮层和木栓层结构并拍照。用PsCS3软件测量分析上述性状指标。解剖数量特征指标每项测量10个条带,取其平均值。数据用SPSS18.0统计分析。

2 结果与分析

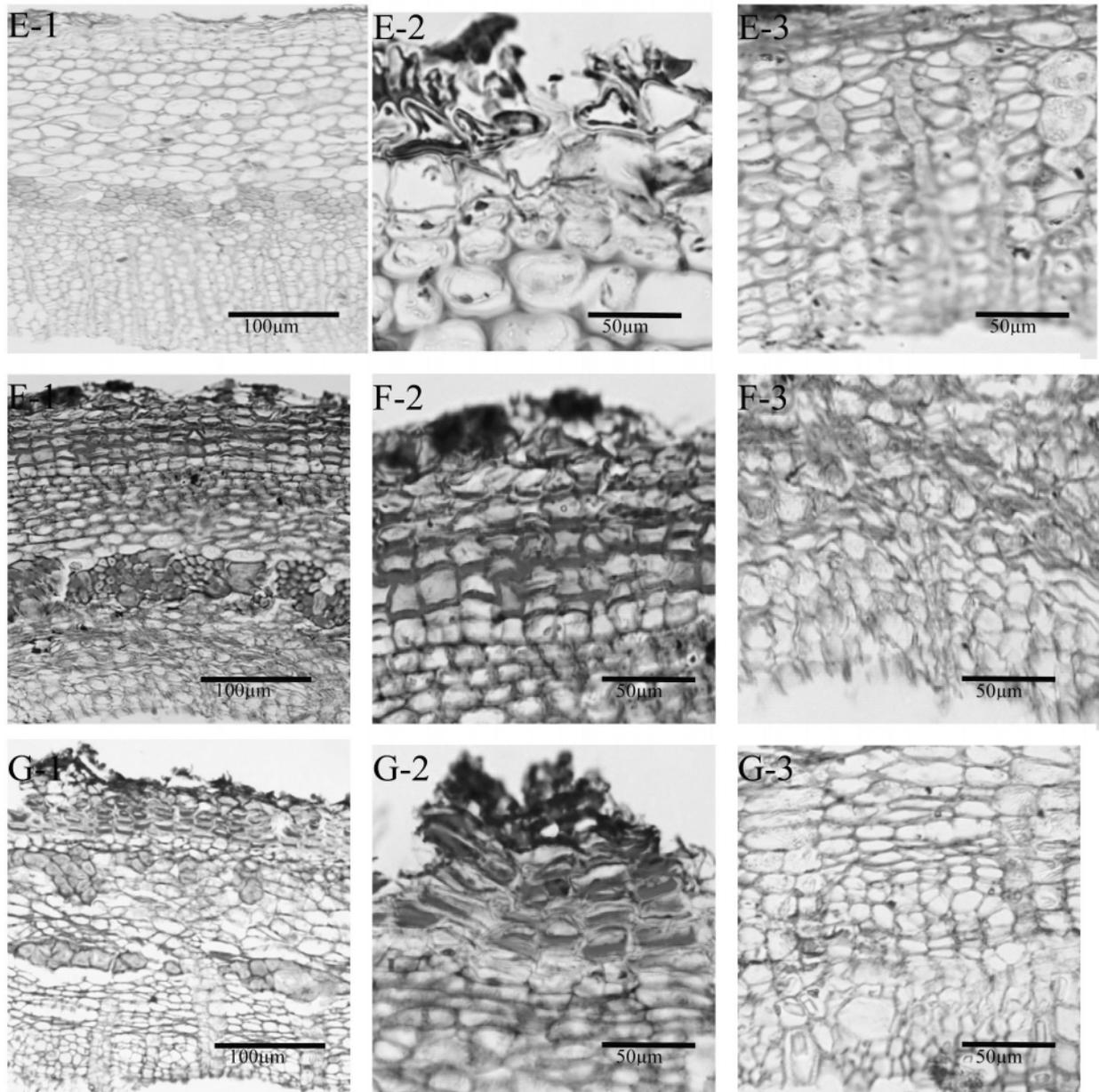
2.1 基本组织结构

石蜡切片显微观察结果表明,白蜡虫7种寄主植物树皮组织包括初生组织和次生组织,从内向外依次为次生韧皮部、初生韧皮部纤维束、皮层和周皮,基本结构与数量性状指标(图版I~II和表1)。次生韧皮部轴向系统由筛管、伴胞和韧皮薄壁组织细胞组成。纤维束连成带状或分散。纤维带中偶有石细胞。韧皮部薄壁细胞纵向排列。横向系统为射线,有单列和双列。周皮从外到内由木栓层、木栓形成层和栓内层组成,最外层木栓层层数较多,各种寄主植物层数不一。多种寄主植物树皮皮层内侧无纤维束或石细胞,白蜡树有分散的石细胞,流苏分布较粗大的纤维束。



图版 I A-1. 女贞树皮横切面; A-2. 女贞树皮周皮; A-3. 女贞树皮次生韧皮部; B-1. 紫药女贞树皮横切面; B-2. 紫药女贞树皮周皮; B-3. 紫药女贞树皮次生韧皮部; C-1. 华南小蜡树皮横切面; C-2. 华南小蜡树皮周皮; C-3. 华南小蜡树皮次生韧皮部; D-1. 白蜡树皮横切面; D-2. 白蜡树皮周皮; D-3. 白蜡树皮次生韧皮部。

Plate I A-1. Transverse section of barks of *L. lucidum*; A-2. Periderm of *L. lucidum*; A-3. Secondary phloem of *L. lucidum*; B-1. Transverse section of barks of *L. delavayanum*; B-2. Periderm of *L. delavayanum*; B-3. Secondary phloem of *L. delavayanum*; C-1. Transverse section of barks of *L. calleryanum*; C-2. Periderm of *L. calleryanum*; C-3. Secondary phloem of *L. calleryanum*; D-1. Transverse section of barks of *F. chinensis*; D-2. Periderm of *F. chinensis*; D-3. Secondary phloem of *F. chinensis*.



图版 II E-1. 白枪杆树皮横切片; E-2. 白枪杆树皮周皮; E-3. 白枪杆树皮次生韧皮部; F-1. 美洲白蜡树皮横切面; F-2. 美洲白蜡树皮周皮; F-3. 美洲白蜡树皮次生韧皮部; G-1. 流苏树皮横切面; G-2. 流苏树皮周皮; G-3. 流苏树皮次生韧皮部。

Plate II E-1. Transverse section of barks of *F. malacophylla*; E-2. Periderm of *F. malacophylla*; E-3. Secondary phloem of *F. malacophylla*; F-1. Transverse section of barks of *F. americana*; F-2. Periderm of *F. americana*; F-3. Secondary phloem of *F. americana*; G-1. Transverse section of barks of *C. retusa*; G-2. Periderm of *C. retusa*; G-3. Secondary phloem of *C. retusa*.

2.2 树皮厚度比较

白蜡虫口针穿刺寄主树皮,最后定位于次生韧皮部与形成层交联带初分化的筛管分子,因此,树皮厚度也就是口针垂直穿刺行迹的最短距离。寄主植物树皮厚度在 $257.06 \sim 552.39 \mu\text{m}$ 之间,7种寄主植物属、种间存在显著差异($P < 0.05$)。其中,以白枪杆树皮最厚,为 $552.39 \pm 24 \mu\text{m}$,紫药女贞树皮最薄,为 $257.06 \pm 6 \mu\text{m}$ (表 1),常用寄主植物白蜡树

和女贞树皮厚度分别为 $315.21 \pm 96 \mu\text{m}$ 和 $404.50 \pm 216 \mu\text{m}$ 。由树皮的厚度,推断白蜡虫口针伸缩性能较强,可能较为适宜的厚度在 $315 \sim 404 \mu\text{m}$ 。

2.3 周皮厚度比较

周皮由木栓形成层生长,包括木栓层、木栓形成层和栓内层。白蜡虫寄主植物周皮厚度在 $28.53 \pm 2 \sim 88.9 \pm 4 \mu\text{m}$ 之间,以白枪杆周皮最薄,为 $28.53 \mu\text{m}$;美洲白蜡最厚,为 $88.9 \pm 4 \mu\text{m}$ 。常用寄主植物

女贞和白蜡树周皮分别为 $54.88 \pm 6 \mu\text{m}$ 和 $64.84 \pm 4 \mu\text{m}$ 。从石蜡切片番红固绿染色的条带观察结果表明,木栓层细胞染色较深,细胞壁栓质化程度较高,栓内层和皮层组织细胞染色差异显著,有明显的

分界线,容易辨认。7种寄主植物周皮木栓层层数不一致,以美国白蜡和流苏木栓层层数最多,达10~12层;华南小蜡、紫药女贞和白枪杆木栓层较少,为5~8层;女贞和白蜡树木栓层最少,分别为2~3层

表1 白蜡虫7种寄主植物树皮解剖结构特征

Table 1 Anatomical characteristics of seven host plant barks of *Ericerus pela* (Chavannes)

编号 No.	种类 Species	树皮厚 Bark thickness (μm)	周皮厚 Periderm thickness (μm)	初生韧皮部纤维束 Fiber bundles of primary phloem		皮层内侧纤维-石细胞 Fiber-sclereid of medial cortex	次生韧皮部厚 Thickness of secondary phloem(μm)	射线 类型 Ray type
				类型 Type	厚 Thickness (μm)			
1	白蜡树 <i>F. chinensis</i>	315.21 ± 9	64.84 ± 4	带状	26.93 ± 13	石细胞;分散	61.83 ± 7	单列
2	白枪杆 <i>F. malacophylla</i>	552.39 ± 24	28.53 ± 2	带状	59.15 ± 7	—	144.25 ± 7	单列
3	美洲白蜡 <i>F. americana</i>	335.67 ± 5	88.9 ± 4	带状	50.05 ± 7	—	50.14 ± 4	单列
4	女贞 <i>L. lucidum</i>	404.50 ± 21	54.88 ± 6	分散	直径: 25.12 ± 13 间距: 78.53 ± 39	—	377.44 ± 24	单列
5	紫药女贞 <i>L. delavayanum</i>	257.06 ± 6	30.58 ± 6	分散	直径: 43.44 ± 10 间距: 149.78 ± 27	—	176.35 ± 16	单列
6	华南小蜡 <i>L. calleryanum</i>	315.37 ± 13	72.72 ± 10	带状	42.38 ± 8	—	48.52 ± 12	单列
7	流苏 <i>C. retusa</i>	301.92 ± 6	49.04 ± 5	分散	直径: 76.15 ± 36 间距: 212.02 ± 95	纤维束;分散	60.1 ± 12	双列

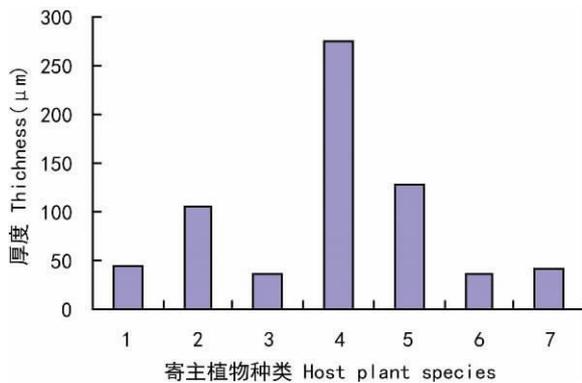


图1 7种寄主植物树皮次生韧皮部厚度比较

Fig. 1 Comparison of secondary phloem thickness of seven host plant species

1. 白蜡树; 2. 白枪杆; 3. 美洲白蜡; 4. 女贞;
5. 紫药女贞; 6. 华南小蜡; 7. 流苏。

1. *F. chinensis*; 2. *F. malacophylla*; 3. *F. americana*; 4. *L. lucidum*; 5. *L. delavayanum*; 6. *L. calleryanum*; 7. *C. retusa*.

和3~4层。

2.4 纤维层厚度比较

白蜡虫寄主植物纤维束在切向面排列整齐,连接成带状或分散,女贞属和白蜡属纤维束分散或连接为带状;白蜡属纤维连接为带状;流苏属流苏纤维束分散,形态与其它属寄主植物差异较大,皮层内部分布石细胞和较粗大的纤维束。属间纤维细胞形态基本一致,种间有差别。带状纤维层厚薄不均,纤维层厚度在 $26.93 \pm 13 \sim 59.15 \pm 7 \mu\text{m}$ 之间,白枪杆

的纤维层最厚,为 $59.15 \pm 7 \mu\text{m}$;其次是美洲白蜡为 $50.05 \pm 7 \mu\text{m}$;白蜡树纤维层最薄,为 $26.93 \pm 13 \mu\text{m}$ 。纤维层数从2~6层不等,华南小蜡和白枪杆纤维细胞大小不一、厚薄不均,层数约为2~5层;美洲白蜡纤维层厚度均匀,层数为6层;白蜡树纤维层细胞排列整齐,中间分布直径较大的纤维细胞,纤维层数为3~6层。分散型纤维束直径在 $25.12 \pm 13 \sim 76.15 \pm 36 \mu\text{m}$,以流苏的纤维束直径最大,为 $76.15 \pm 36 \mu\text{m}$;紫药女贞次之,为 $43.44 \pm 10 \mu\text{m}$;女贞纤维束直径最小,为 $25.12 \pm 13 \mu\text{m}$ 。分散型纤维束间距较大,女贞、紫药女贞和流苏纤维束间距分别为 $78.53 \pm 39 \mu\text{m}$ 、 $149.78 \pm 27 \mu\text{m}$ 和 $212.02 \pm 95 \mu\text{m}$ 。从7种寄主植物纤维带厚度和纤维束直径和离散程度比较分析,结果表明白蜡树纤维层最薄,女贞纤维束直径最小,这可能是白蜡虫优良寄主植物树皮机械组织的结构特征。

2.5 次生韧皮部厚度比较

7种寄主植物次生韧皮部由筛管、伴胞和韧皮薄壁组织细胞组成。一年生寄主植物树皮次生韧皮部没有观察到纤维束,2~5年生白蜡树和女贞次生韧皮部具有发达的纤维带(张振珏,1993)。7种寄主植物次生韧皮部厚度在 $48.52 \pm 12 \sim 377.44 \pm 24 \mu\text{m}$ 之间,以女贞次生韧皮部最厚,达 $377.44 \pm 24 \mu\text{m}$;紫药女贞次之,为 $176.35 \pm 16 \mu\text{m}$;华南小蜡最薄,为 $48.52 \pm 12 \mu\text{m}$,其它寄主植物白蜡树、白枪

杆、美洲白蜡和流苏分别为 $61.83 \pm 7 \mu\text{m}$ 、 $144.25 \pm 7 \mu\text{m}$ 、 $50.14 \pm 4 \mu\text{m}$ 和 $60.1 \pm 12 \mu\text{m}$ (图 1)。女贞与华南小蜡次生韧皮部厚度相差达 $329 \mu\text{m}$,与白蜡树相差 $316 \mu\text{m}$ 。

2.6 射线

射线分布于寄主植物次生韧皮部,是寄主植物的横向运输系统,主要由薄壁细胞组成。7 种寄主植物树皮韧皮部射线分为单列和多列 2 种形式,流苏为双列,射线细胞增大,其它寄主植物为单列。7 种寄主植物射线细胞明显含有内含物,可能是淀粉或者 P-蛋白。

3 讨论

7 种寄主植物树皮解剖结构特征与数量性状在属、种间存在相似性和差异性,可作为寄主植物分类及亲缘关系探讨的参考依据(高信曾,1978;李景秀等,2007)。

树皮结构特征与枝龄、环境条件存在相关性。白蜡虫 7 种寄主植物枝条枝龄、取样部位以及生长环境一致,树皮解剖结构及数量性状具有可比性。若同种寄主植物生长环境条件有差异,树皮结构可能发生变化(周云龙,1999)。不同枝龄树皮结构也存在差异,2~5 年生白蜡树和女贞次生韧皮部分布纤维束并连接成带状,周皮木栓层分别为 3~8 层和 5~14 层,韧皮射线为多列(张振珏等,1993)。一年生树皮次生韧皮部缺少纤维束,周皮木栓层不超过 2~4 层,韧皮射线为单列。

树皮保护组织和机械组织可能影响白蜡虫口针在树皮的穿刺和吸食。保护组织周皮是由木栓层和木栓形成层和栓内层组成。7 种寄主植物木栓层层数从 2~12 层,厚度厚薄不一致,以女贞木栓层最薄,层数最少为 2~3 层,其次是白蜡树为 3~4 层。李会平等(2004)对树皮结构与天牛危害之间关系研究表明,木栓层厚度和层数与天牛的危害程度存在相关性,木栓层厚的树种天牛危害程度较轻。白蜡树和女贞木栓层较薄有利于白蜡虫的穿刺,适宜放养白蜡虫。

白蜡虫寄主植物树皮机械组织主要是纤维束,分布于初生韧皮部与次生韧皮部之间,成带状或离散。白蜡虫抵达次韧皮部必须穿刺纤维束。徐斌等(2008)报道樟树黄花病发生与树皮纤维组成存在相关性,病株与正常株纤维组成比例相差 35%。说

明,机械组织与病虫害发生存在相关性。白蜡虫 7 种寄主植物中美洲白蜡、白枪杆、白蜡树和华南小蜡纤维带连接成带状厚薄不均,厚度在 $26.93 \pm 13 \sim 59.15 \pm 7 \mu\text{m}$ 之间;其它的种类如女贞、紫药女贞和流苏纤维带分散,束间距分别为 $78.53 \pm 39 \mu\text{m}$ 、 $149.78 \pm 27 \mu\text{m}$ 和 $212.02 \pm 95 \mu\text{m}$ 。带状纤维层可能不利于白蜡虫的穿刺,离散型纤维束对白蜡虫穿刺影响较小。

输导组织次生韧皮部是白蜡虫口针定位取食营养的部位,其厚度可能影响白蜡虫从韧皮部摄取营养。白蜡虫 7 种寄主植物次生韧皮部厚度存在种间差异,常用寄主植物女贞的次生韧皮部最厚达 $377.44 \pm 24 \mu\text{m}$,华南小蜡最薄为 $48.52 \pm 12 \mu\text{m}$,2 种寄主植物相差 $329 \mu\text{m}$ 。陈又清等(2003)对紫胶蚧(*Kerria lacca*)与树皮结构特征之间关系研究表明,紫胶蚧固虫密度与韧皮部厚度有密切关系。寄主植物中具有较厚的韧皮部种类,适宜作为放养白蜡虫的寄主植物。陈勇等(1998)比较研究了女贞、白蜡树和小叶女贞上白蜡虫泌蜡量,结果表明女贞上雄虫泌蜡量高于其它 2 种寄主植物。在白蜡虫生产中,采用女贞放养白蜡虫生产虫、蜡具有科学依据。从寄主植物解剖结构分析,采用木栓层薄、韧皮部厚等指标评价白蜡虫优良寄主植物是可行的。

7 种寄主植物树皮组织细胞发现含有大量的内含物,可能是淀粉、单宁或 P-蛋白,尚需要进一步系统的解剖观察。

参考文献:

- 高信曾. 1978. 植物学(形态解剖部分)[M]. 北京:科学出版社:61-117
- 陈晓鸣. 2011. 白蜡虫自然种群生态学[M]. 北京:科学出版社:129-136
- 周云龙. 1999. 植物生物学[M]. 北京:高等教育出版社:67-141
- Chen YQ(陈又清), Xu T(徐涛), Chen XM(陈晓鸣), et al. 2003. Study on comparative anatomy of bark of seven host tree species of *Kerria lacca* and its parasitic characteristics(紫胶蚧 7 种寄主植物“树皮”比较解剖与寄生特性研究)[J]. *Fore Res* (林业科学研究), 16(4):411-417
- Chen Y(陈勇), Chen XM(陈晓鸣), Wang ZL(王自力), et al. 1998. Studies on secreting wax of Chinese white wax scale II. The comparison of secreting wax on different host plant(白蜡虫泌蜡研究 II. 不同寄主植物上的泌蜡比较)[J]. *Fore Res* (林业科学研究), 11(3):285-288
- Guerrieri E, Digilio MC. 2008. Aphid plant interactions: a review [J]. *J Plant Interact*, 3:223-232

(下转第 117 页 Continue on page 117)

清楚,后续工作将通过 Southern blot 进行验证,确定内含子剪接与各基因家族成员之间的是否存在一定联系,同时也有助于 *HMGR* 基因家族各成员的功能进行分析验证。

Schaller 等(1995)将橡胶树的 *HMGR* 基因转化到烟草中,结果 *HMGR* 的活性增强 3~8 倍,同时甾醇总含量提高近 6 倍。Manzano 等(2004)在拟南芥中超量表达其自身 *HMGR* 基因,结果也能够提高甾醇总含量。尾巨桉 *EuHMGR* 是否为精油代谢调控靶点,有待进一步进行遗传转化方面的研究;本研究为最终通过基因工程提高桉树精油产量奠定了一定基础。

参考文献:

- 王关琳,方宏筠. 2002. 植物基因工程[M]. 北京:科学出版社:724—744
- 王悦冰,郎志宏,黄大昉. 2008. 内含子对真核基因表达调控的影响[J]. 生物技术通报,(4):1—4
- 田玉红,张祥民,黄泰松,等. 2007. 桉叶油的研究进展[J]. 食品与发酵工业,33(10):139—143
- 陈少雄,杨建林,周国福. 1999. 不同栽培措施对尾巨桉生长的影响及经济效益分析[J]. 林业科学研究,12(4):357—362
- 张宁南,许涵,徐大平,等. 2009. 广东省尾巨桉和马尾相思人工林下植物多样性动态变化[J]. 林业科学研究,22(2):262—268
- 宋永芳. 1990. 桉树叶的利用[M]. 北京:中国林业出版社:22—23
- Aquil S, Husaini AM, Abidin MZ, et al. 2009. Overexpression of the HMG-CoA reductase Gene leads to enhanced artemisinin biosynthesis in transgenic artemisia annua plants[J]. *Plant Med*, 75(13):1 453—1 458
- Cao XY, Zong ZM, Ju XY, et al. 2010. Molecular cloning, characterization and function analysis of the gene encoding HMG-CoA reductase from *Euphorbia Pekinensis* Rupr[J]. *Mol Biol Rep*, 37(3):1 559—1 567
- Chye ML, Kush A, Tan CT, et al. 1991. Characterization of cDNA and genomic clones encoding 3-hydroxy-3-methylglutaryl-coenzyme a reductase from *Hevea brasiliensis*[J]. *Plant Mol Biol*, 16:567—577
- Degenhardt J, Kollner TG, Gershenzon J. 2009. Monoterpene and sesquiterpene synthases and the origin of terpene skeletal diversity in plants[J]. *Phytochemistry*, 70(15—16):21—1 637
- Holmberg N, Harker M, Wallace AD, et al. 2003. Co-expression of N-terminal truncated 3-hydroxy-3-methylglutaryl CoA reductase and C24-sterol methyltransferase type 1 in transgenic tobacco enhances carbon flux towards end-product sterols[J]. *Plant J*, 36(1):12—20
- Istvan ES, Deisenhofer J. 2000. The structure of the catalytic portion of human HMG-CoA reductase[J]. *BBA-Mol Cell Biol L*, 1 529(1—3):9—18
- Jiang J, Kai G, Cao X, et al. 2006. Molecular cloning of a HMG-CoA reductase gene from *Eucommia ulmoides*[J]. *Biosci Rep*, 26:171—181
- Liao ZH, Tan QM, Chai YR, et al. 2004. Cloning and characterization of the gene encoding HMG-CoA reductase from *Taxus media* and its functional identification in yeast[J]. *Funct Plant Biol*, 31(1):73—81
- Manzano D, Fernandez-Busquets X, Schaller H, et al. 2004. The metabolic imbalance underlying lesion formation in *Arabidopsis thaliana* overexpressing farnesyl diphosphate synthase(ISOFORM 1S) leads to oxidative stress and is triggered by the developmental decline of endogenous *HMGR* activity[J]. *Planta*, 219(6):982—992
- McGarvey DJ, Croteau R. 1995. Terpenoid Metabolism[J]. *Plant Cell*, 7(7):1 015—1 026
- Schaller H, Grausem B, Benveniste P, et al. Expression of the *Hevea brasiliensis* Arg. 3-Hydroxy-3-Methylglutaryl-Coenzyme A reductase 1 in tobacco results in sterol overproduction[J]. *Plant Physiol*, 109:761—770
-
- (上接第 45 页 Continue from page 45)
- Li HP(李会平), Huang DZ(黄大庄), Wang ZG(王志刚), et al. 2004. Relationships between morphological characteristics and tissue structure of poplars and damage by *Anophora glabripennis*(杨树形态特征、组织结构与光肩星天牛危害的关系)[J]. *J Northeast Fore Univ(东北林业大学学报)*, 32(6):111—112
- Li JX(李景秀), Guan KY(管开云), Da GW(大宫微), et al. 2007. Anatomy on leaf cross sections of *Begonia* from Yunnan, China(云南秋海棠属植物叶片横切面比较解剖研究)[J]. *Guihaia(广西植物)*, 27(4):543—550
- Powell G, Tosh CR, Hardie J. 2006. Host plant selection by Aphids: Behavioral, Evolutionary, and Applied Perspectives [J]. *Ann Rev Entomol*, 51:309—330
- Pollard DG. 1973. Plant penetration by feeding aphids(Hemiptera: Aphidoidea): a review[J]. *Bull Ent Res*, 62:631—714
- Schoonhoven LM, van Loon JJA, Dicke M. 2005. Insect-Plant Biology (Second Edition)[M]. Oxford:Oxford University Press:29—47
- Washington JR, Walker GP. 1990. Histological studies of California red scale(Homoptera: Diaspididae) feeding on citrus[J]. *Ann Entomol Soc Am*, 83:939—948
- Xu B(徐斌), Shu QL(束庆龙), Chen CY(陈超燕). 2008. Effect of camphor tree yellowing on the bark structure(樟树黄化病对树皮构造特征的影响)[J]. *J Anhui Agric Univ(安徽农业大学学报)*, 35(4):482—485
- Zhang ZJ(张振珏), Lin JY(林锦仪), Zhang YT(张永田). 1993. Feeding position of wax insect(*Ericerus pela*) on the *Ligustrum lucidum* and the influence of parasitism on host tissue(白蜡虫在女贞树上的取食部位及寄生对组织的影响)[J]. *Acta Bot Sin(植物学报)*, 35(增刊):19—23