

白蜡虫 7 种寄主植物叶片解剖结构与寄主选择性的关系

赵杰军^{1,2}, 陈晓鸣^{1,2*}, 王自力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: 用石蜡切片法在显微镜下观察白蜡虫 [*Ericerus pela* (Chavannes)] 7 种寄主植物叶的解剖结构。结果表明, 寄主植物的叶脉、表皮、栅栏组织、海绵组织、维管束解剖结构及数量性状特征在属、种间存在显著差异。7 种寄主植物中, 华南小蜡 (*Ligustrum calleryanum* Decne.) 和白蜡树 (*Fraxinus chinensis* Roxb.) 表皮被毛, 华南小蜡表皮毛浓密, 白蜡树表皮毛稀疏, 其它寄主植物表皮无毛; 女贞树 (*Ligustrum lucidum* Ait.) 栅栏组织、海绵组织和叶脉的厚度最厚、维管束直径最大, 其它寄主植物相对较小。因此, 叶片表面光滑、叶脉发达、叶片肥厚是白蜡虫优良寄主植物的重要解剖学特征。7 种寄主植物中脉和侧脉发达, 近轴面凹陷, 远轴面突起, 肉脉包埋在叶肉中, 推测叶脉突起和凹槽可能是白蜡虫固定位点选择的关键线索。

关键词: 白蜡虫; 寄主植物; 解剖结构; 寄主选择性

doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2012.03.007

Relationship between Leaf Anatomical Structures of Seven Host Plants and Host-selection by *Ericerus pela* (Chavannes)

ZHAO Jie-jun^{1,2}, CHEN Xiao-ming^{1,2*}, WANG Zi-li²

(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: Leaf anatomical structures of seven host plants of *Ericerus pela* (Chavannes) were observed under the microscope (NikonE800) with paraffin sectioning method, including leaf thickness, midrib, cuticle, palisade tissue and spongy tissue, diameter of vascular bundle, ratio of palisade tissue to spongy tissue, and ratio of leaf thickness to midrib thickness. The results showed that there were significant differences among genus and species of quantitative character and anatomical structures, which had taxonomic significance for classification of *Ligustrum*, *Fraxinus* and *Chionanthus*. Among seven host plants, the leaf surface of *Fraxinus chinensis* Roxb. and *Ligustrum calleryanum* Decne. had trichomes, while the others absent. *Ligustrum lucidum* Ait. had the maximum diameter of vascular bundle and the thickest of vein, spongy tissue and palisade tissue. Therefore, it may be important anatomical features of superior host plants of *Ericerus pela* that leaf surface is smooth with well-developed veins and thick lamina. Among host plants, well-developed main and lateral veins formed protrude on the abaxial surfaces and groove on the adaxial surfaces. However, a network of minor veins was present in the lamina of the leaf and these were too small to be visibly raised on either the lower or upper surfaces of leaf. So, it suggested that groove and protrude of veins provided key cues for settling sites selection of *E. pela*.

Key words: *Pela* wax scale (*Ericerus pela*); Host plant; Anatomical structure; Host selection

收稿日期: 2011-08-16 接受日期: 2011-11-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(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资金项目(ririca201004M) 资助

作者简介: 赵杰军(1973 ~), 助理研究员, 博士研究生, 研究方向为白蜡虫与寄主植物互作关系。E-mail: ericerusgrana@gmail.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xmchen@vip.km169.net

白蜡虫 [*Ericerus pela* (Chavannes)] 是一种工业原料资源昆虫。其雄虫刺吸寄主树液分泌蜡丝形成的蜡被,用于加工生产虫白蜡。白蜡虫寄主植物种类丰富,据资料报道有6科8属29种,主要分布于木樨科女贞属 (*Ligustrum*) 和白蜡树属 (*Fraxinus*)^[1-9]。在白蜡生产中,常用的寄主植物有白蜡树 (*Fraxinus chinensis* Roxb.) 和女贞树 (*Ligustrum lucidum* Ait.)^[1]。对于白蜡虫寄主植物研究主要作了形态学、生物学、栽培技术、化学成分分析,以及与白蜡虫的互作关系^[10-19],就其微形态结构研究缺乏系统资料报道。白蜡虫定叶特征具有独特性,表现在定叶面、固定部位和固定方式的差异,雌虫按顺序固定寄生叶片正面叶脉上,雄虫聚集固定寄生叶片背面叶肉上^[1]。白蜡虫特殊的寄生习性与寄主植物之间的关系缺乏深入的探讨。寄主植物的化学物质和物理结构与刺吸式昆虫固定位点的选择有密切关系^[20-21],其中,寄主植物表面结构和内部结构在刺吸式昆虫固定位点选择过程中发挥重要作用^[22-24]。从植物比较解剖学的角度探讨蚧虫寄主选择行为,仅有少数蚧虫种类开展了寄主植物的解剖学研究^[19],就系统研究寄主植物结构与蚧虫寄主植物之间的互作关系缺乏资料报道。为此,以白蜡虫寄主植物白蜡树属、女贞属和流苏属7种寄主植物为材料,系统地解剖观察寄主植物叶片微形态结构,探讨白蜡虫寄主选择与寄主植物物理结构特征之间的关系,为深入研究白蜡虫与寄主植物之间互作关系奠定基础。

1 材料和方法

1.1 材料

寄主植物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(24°26'28.09"E;100°50'45.81"N)。采集的寄主植物有:白蜡树属白蜡树(*Fraxinus chinensis* Roxb.)、白枪杆(*F. malacophylla* Hemsl.) 和美洲白蜡 (*F. americana* Linn.);女贞属女贞树(*Ligustrum lucidum* Ait.)、紫药女贞 (*L. delavayanum* Hariot.), 华南小蜡 (*L. calleryanum* Decne.); 流苏属流苏 (*Chionanthus retusa* Lind.)。选择寄主植物同一方位、当年生叶片,在中脉、侧脉和肉脉的中部分别取6 mm × 1 mm的样品,投入FAA固定液。每种寄主植物取样5株,重复3次。

1.2 方法

材料经FAA固定3 d后,石蜡组织切片,58℃包埋,切片厚度为10 μm,粘片量为每片24条,番红-固绿对染,Euparal胶封片。用NikonE800相差显微系统观察、拍照。用PsCS3软件测量分析叶片厚度、叶脉厚度、上下表皮厚度、栅栏组织和海绵组织厚度、维管束直径等指标,每项指标测量10个条带。数据用SPSS 18.0软件分析,计算叶中脉厚度与叶片厚度比值叶脉突起度(VPD)和栅栏组织厚度与海绵组织厚度的比值(P/S),数据用平均值 ± 标准差表示。

2 结果和分析

2.1 基本组织

白蜡树属、女贞属和流苏属植物均为双子叶植物,异叶面,叶片横切面均由表皮、叶肉和叶脉3部分组成。叶片、主脉、侧脉和肉脉横切面微形态见图1和图2,基本组织形态数据见表1和表2。

叶肉组织 寄主植物叶肉组织发达,分化为栅栏组织和海绵组织(图1,2)。栅栏组织含叶绿体较多,排列紧密。栅栏组织属间存在差异,女贞属和流苏属植物有2~3层,白蜡树属植物为单层。海绵组织接近下表皮的一层细胞排列较紧密,其他细胞排列疏松,多数呈近圆形,叶绿体较少。栅栏组织厚度小于海绵组织。叶肉中含有少量的石细胞。

叶脉形态 白蜡虫寄主植物叶脉发达,横切面上分布着粗细不等、数目较多的维管束,有中脉、侧脉和肉脉3种类型。叶脉维管束有排列整齐的鞘细胞层。中脉和侧脉的结构基本一致,有完整的木质部和韧皮部,以及韧皮纤维和石细胞。肉脉结构较为简单。属间维管束的轮廓相同,维管束数量存在种间差异。中脉发达,近轴面凹陷,远轴面均突起形成肋,在肋部有厚角组织分布。维管束远轴面,依次分布1~3层厚壁细胞、2~3层厚角细胞和多层排列紧密的薄壁细胞。维管束近轴面分布层数不等的厚壁细胞和薄壁细胞。中脉上表皮细胞近方形,排列较紧密,厚度较薄。

2.2 表皮结构特征比较

表皮形态 白蜡虫寄主植物白蜡树属、女贞属和流苏属叶片上、下表皮由单层薄壁细胞组成,

表 1 7 种寄主植物叶片解剖特征

Table 1 Leaf anatomical characteristics of seven host plants

种类 Species	叶厚 Leaf thickness (μm)	叶脉厚 Vein thickness (μm)	VPD	上表皮 Upper epidermis		下表皮 Lower epidermis		栅栏组织 Palisade tissue		海绵组织 Spongy tissue	P/S	表皮毛 Trichomes
				细胞 形状 Cell shape	厚度 Thickness (μm)	细胞 形状 Cell shape	厚度 Thickness (μm)	层数 Layer	厚度 Thickness (μm)			
白蜡树 <i>Fraxinus chinensis</i>	84 ± 3.7	347 ± 3.5	4.1	A	11 ± 2.9	A	7 ± 1.1	1	27 ± 2.1	32 ± 4.3	0.8	-
白枪杆 <i>Fraxinus malacophylla</i>	147 ± 5.6	383 ± 7.7	2.6	A	16 ± 1.2	A	13 ± 1.6	1	39 ± 3.1	90 ± 7.8	0.4	-
美洲白蜡 <i>Fraxinus americana</i>	98 ± 3.0	343 ± 6.9	3.5	A	8 ± 1.0	A	8 ± 2.0	1	23 ± 1.8	49 ± 7.6	0.5	-
女贞树 <i>Ligustrum lucidum</i>	284 ± 8.9	1005 ± 10.1	3.5	A	21 ± 1.7	B	17 ± 3.0	2~3	130 ± 9.5	130 ± 7.7	1.0	-
紫药女贞 <i>Ligustrum delavayanum</i>	148 ± 11.5	288 ± 14.1	1.9	A	17 ± 3.6	B	13 ± 2.5	2~3	58 ± 13.4	86 ± 10.5	0.7	-
华南小蜡 <i>Ligustrum calleryanum</i>	126 ± 3.6	570 ± 7.0	4.5	A	15 ± 2.9	B	15 ± 2.5	2	67 ± 4.4	82 ± 8.0	0.8	+
流苏 <i>Chionanthus retusa</i>	210 ± 3.4	273 ± 5.9	1.3	A	8 ± 0.3	B	5 ± 0.3	2	103 ± 2.9	85 ± 3.9	1.2	-

+: 有; -: 无; A: 近方形; B: 近圆形; VPD: 叶脉突起度。
+: Appearance; -: Absence; A: Near square; B: Subcircular; VPD: Vein protuberant degree.

表 2 7 种寄主植物叶脉的解剖特征

Table 2 Anatomical characteristics of leaf vein of seven host plants

种类 Species	中脉 Main vein				侧脉直径 Diameter of lateral vein (μm)	肉脉直径 Diameter of mesophyll vein (μm)	表皮毛 Trichomes	图 Figure
	形状 Shape	类型 Type	近轴面 Adaxial	直径 Diameter (μm)				
白蜡树 <i>Fraxinus chinensis</i>	A	C	E	253 ± 6.6	116 ± 4.9	39 ± 4.7	+	1:A~C
白枪杆 <i>F. malacophylla</i>	A	C	E	344 ± 15.6	133 ± 3.6	28 ± 4.6	-	1:D~F
美洲白蜡 <i>F. americana</i>	A	C	E	289 ± 3.6	101 ± 4.0	31 ± 5.0	-	1:G~I
女贞树 <i>Ligustrum lucidum</i>	B	D	E	989 ± 22.3	269 ± 5.5	51 ± 7.9	-	2:J~L
紫药女贞 <i>L. delavayanum</i>	B	D	E	214 ± 14.2	87 ± 6.0	29 ± 2.0	-	2:M~O
华南小蜡 <i>L. calleryanum</i>	B	D	E	417 ± 16.0	115 ± 4.3	27 ± 3.5	++	2:P~R
流苏 <i>Chionanthus retusa</i>	A	D	E	172 ± 10.5	80 ± 8.0	31 ± 5.1	-	2:S~U

++: 多; +: 有; -: 无; A: 圆形; B: 凹心形; C: 周韧; D: 外韧; E: 凹陷。
++: Abundance; +: Appearance; -: Absence; A: Round; B: Sunk-heart shaped; C: Amphicribal; D: Collateral; E: Sunken.

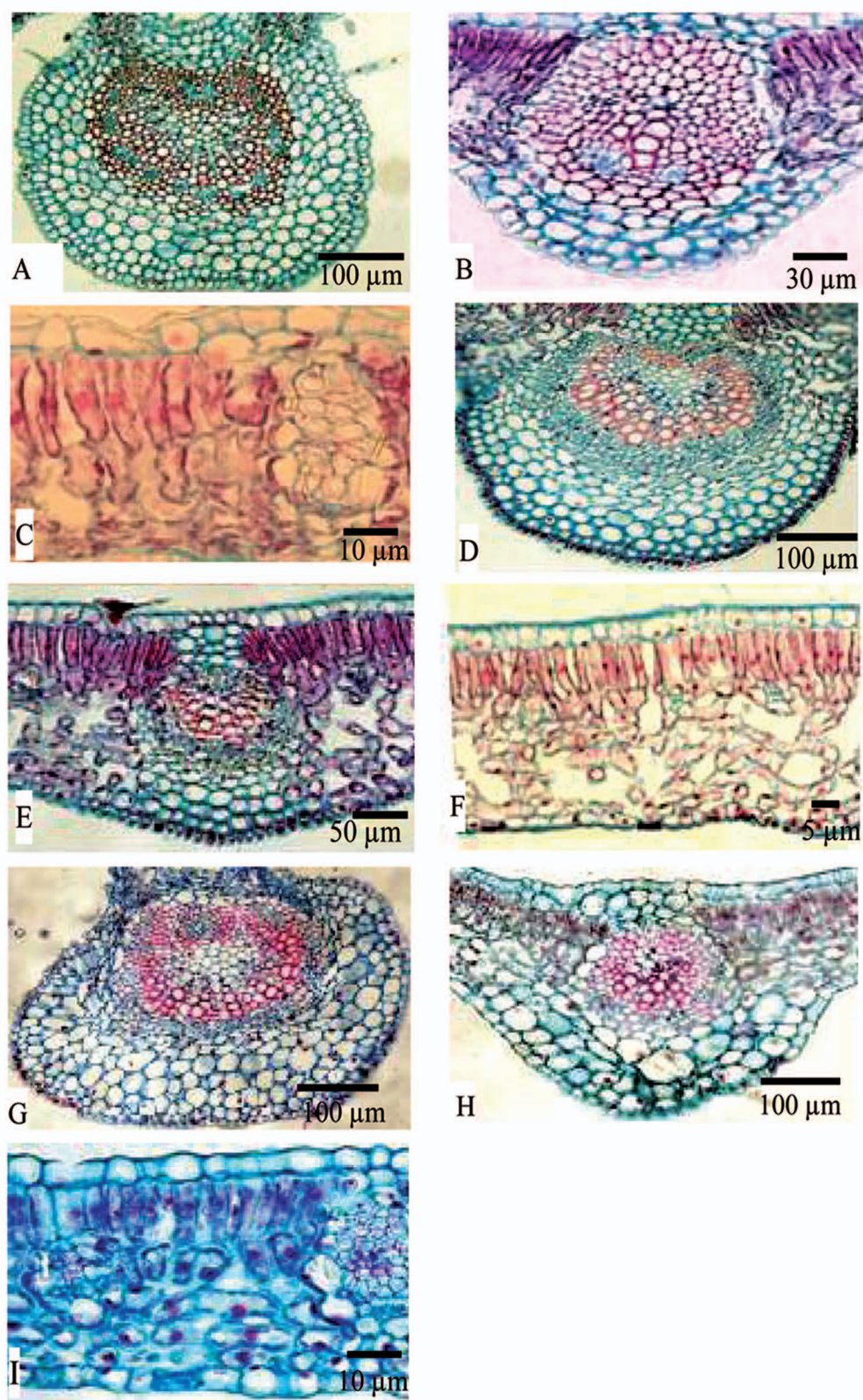


图1 白蜡树、白枪杆和美洲白蜡叶中脉、侧脉和肉脉横切面。A~C:白蜡树的中脉、侧脉和肉脉; D~F:白枪杆的中脉、侧脉和肉脉; G~I:美洲白蜡的中脉、侧脉和肉脉。

Fig. 1 Transverse section of main vein, lateral vein and minor vein in *Fraxinus chinensis*, *F. malacophylla* and *F. americana*. A~C: Main vein, lateral vein and minor vein of *F. chinensis*, respectively; D~F: Main vein, lateral vein and minor vein of *F. malacophylla*, respectively; G~I: Main vein, lateral vein and minor vein of *F. americana*, respectively.

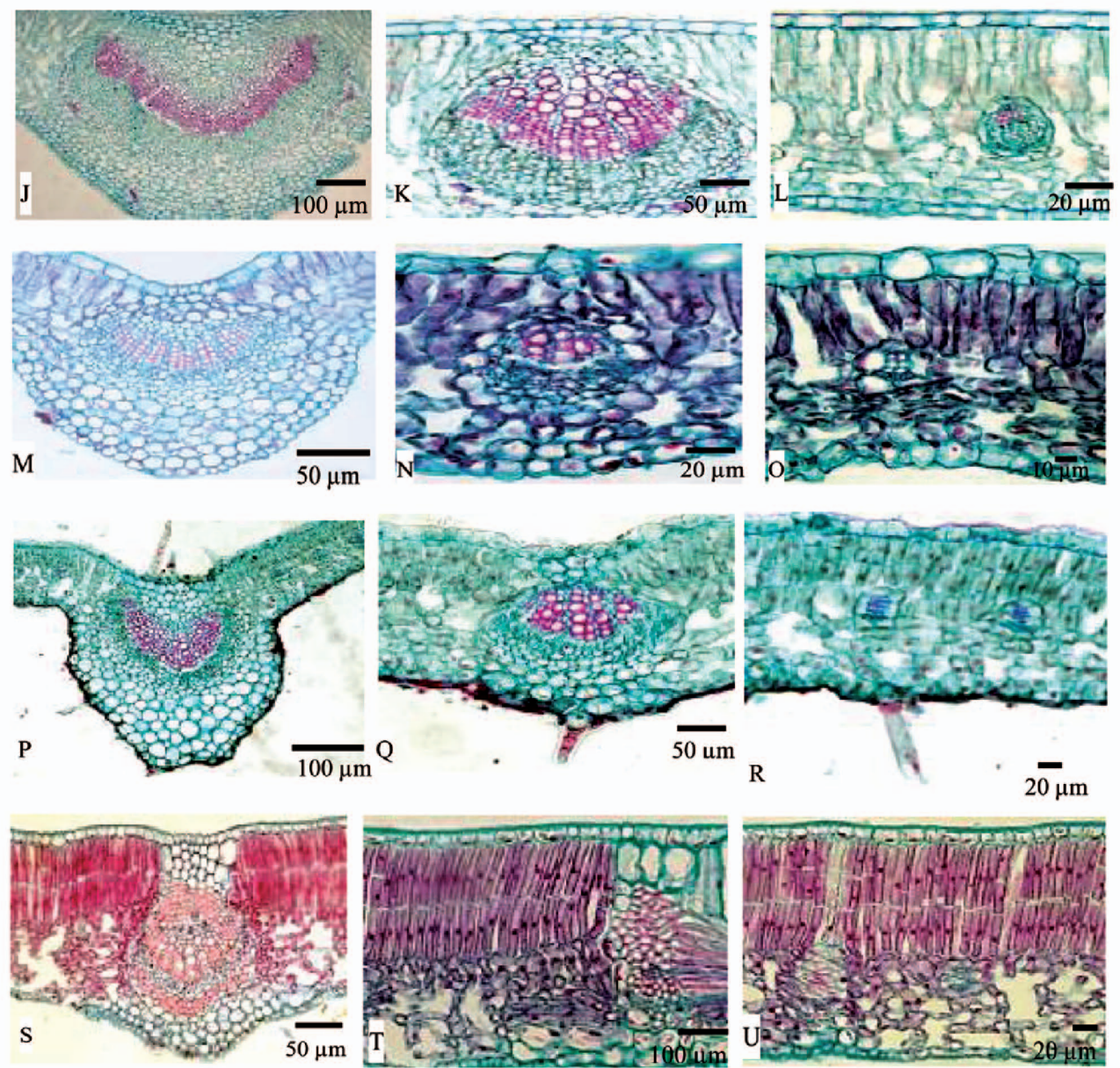


图2 女贞树、紫药女贞、华南小蜡和流苏叶片中脉、侧脉和肉脉的横切面。J~L:女贞树的中脉、侧脉和肉脉;M~O:紫药女贞的中脉、侧脉和肉脉;P~R:华南小蜡的中脉、侧脉和肉脉;S~U:流苏的中脉、侧脉和肉脉。

Fig. 2 Transverse section of main vein, lateral vein and minor vein in *Ligustrum lucidum*, *L. delavayanum*, *L. calleryanum* and *Chionanthus retusa*. J~L. Main vein, lateral vein and minor vein of *Ligustrum lucidum*, respectively; M~O. Main vein, lateral vein and minor vein of *L. delavayanum*, respectively; P~R. Main vein, lateral vein and minor vein of *L. calleryanum*, respectively; S~U. Main vein, lateral vein and minor vein of *Chionanthus retusa*, respectively.

细胞排列紧密(图 1, 2)。上表皮细胞较大,为近长方形,下表皮细胞较小,不规则,圆形或方形。气孔分布于下表皮。上、下表皮角质层较薄,厚度不足 1 μm 。

表皮腺毛 白蜡虫寄主植物中,白蜡树和华南小蜡表皮上有腺毛分布,其它寄主植物表皮缺腺毛(表 1, 2; 图 1, 2)。白蜡树仅中脉下表皮被稀疏的

单细胞腺毛,长度约为 66 μm ,腺毛周围细胞正常(图 1: A ~ C)。华南小蜡表皮腺毛密,主要分布于中脉、侧脉和肉脉的上、下表皮,以中脉上、下表皮的腺毛较多。中脉上表皮腺毛数量达 3 ~ 4 根,长度约为 171 μm ;中脉下表皮腺毛数量为 8 根以上,长度 89 μm 。侧脉上、下表皮腺毛数量一般为 2 ~ 3 根,长度为 139 μm 。叶片表皮腺毛稀疏,生于肉脉

下表皮,长度为 82 μm ;中脉和侧脉表皮的腺毛为多细胞,周围表皮细胞正常;肉脉腺毛为单细胞,周围表皮细胞较大,外向突出(图 2: M~O)。

表皮层厚度数量性状比较 白蜡虫寄主植物叶片表皮厚度为 7~21 μm ,以女贞树的表皮最厚,上表皮厚度为 (21 ± 1.7) μm ,下表皮为 (17 ± 3.0) μm ;流苏的表皮最薄,上表皮厚度为 (8 ± 0.3) μm ,下表皮厚度为 (5 ± 0.3) μm (图 1, 2)。上、下表皮厚度的方差分析表明,属间的 F 值分别为 72.14 和 141.17 [$F_{0.05}(2,27)=3.40$],表明属间表皮厚度存在显著差异;种间的 F 值分别为 2.44 和 41.07 [$F_{0.05}(6,63)=2.27$],显示上、下表皮厚度在种间有显著差异。女贞树、华南小蜡、紫药女贞、流苏、白蜡树、白枪杆和美洲白蜡上、下表皮厚度的 t 值分别为 2.44、1.65、2.51、3.93、2.70、4.66 和 0.05 ($t_{0.05}=1.86$),说明除华南小蜡和美洲白蜡上表皮和下表皮厚度差异不显著外,其它几种植物差异显著。

2.3 叶片、中脉厚度与中脉维管束直径的比较

寄主植物的叶片厚度为 84~284 μm ,女贞树的最厚,白蜡树的最薄(图 3)。寄主植物叶片厚度的属间和种间 F 值分别为 9093.85 和 1791.83 [$F_{0.01}(2,27)=3.35$],表明叶片厚度在属、种间存在极显著差异。叶脉厚度为 273~1005 μm ,女贞树的中脉最厚,流苏的最薄。VPD 为 1.3~4.5,以华南小蜡的最大,流苏的最小,说明叶片厚度与中脉厚度之间不存在相关性。

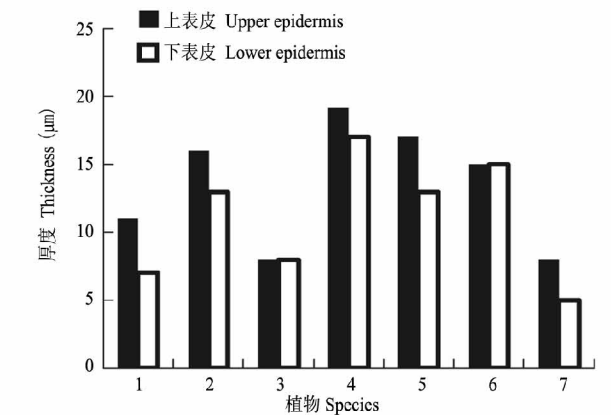


图 3 7 种寄主植物叶片表皮厚度。1. 白蜡树; 2. 白枪杆; 3. 美洲白蜡; 4. 女贞树; 5. 紫药女贞; 6. 华南小蜡; 7. 流苏。
Fig. 3 Thickness of leaf epidermis of seven host plants. 1. *Fraxinus chinensis*; 2. *Fraxinus malacophylla*; 3. *Fraxinus americana*; 4. *Ligustrum lucidum*; 5. *Ligustrum delavayanum*; 6. *Ligustrum calleryanum*; 7. *Chionanthus retusa*.

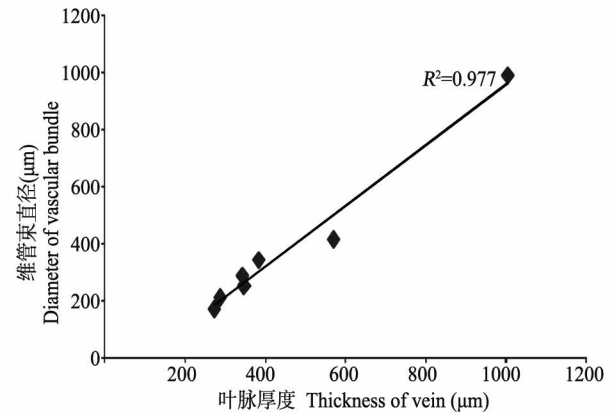


图 4 叶脉厚度与维管束直径间的线性关系
Fig. 4 Linear relationship between vein thickness and vascular bundle diameter

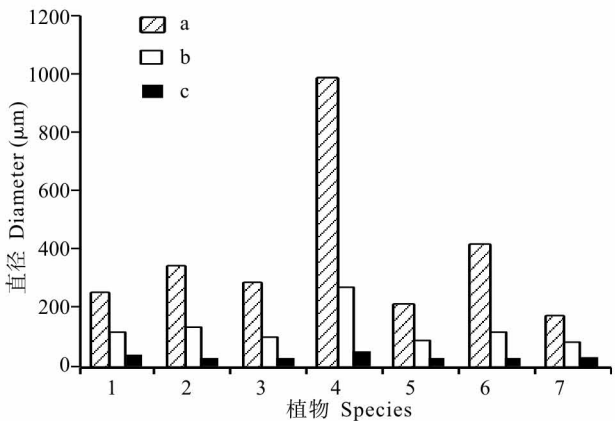


图 5 7 种寄主植物的叶脉直径。1. 白蜡树; 2. 白枪杆; 3. 美洲白蜡; 4. 女贞树; 5. 紫药女贞; 6. 华南小蜡; 7. 流苏; a. 中脉; b. 侧脉; c. 肉脉。
Fig. 5 Diameter comparison of vein amongst seven host plants. 1. *Fraxinus chinensis*; 2. *Fraxinus malacophylla*; 3. *Fraxinus americana*; 4. *Ligustrum lucidum*; 5. *Ligustrum delavayanum*; 6. *Ligustrum calleryanum*; 7. *Chionanthus retusa*; a. Main vein; b. Lateral vein; c. Mesophyll vein.

寄主植物叶片的中脉维管束直径为 172~989 μm (表 2),以女贞树的最大,流苏的最小。中脉维管束直径 F 值为 3155.07 [$F_{0.01}(6,63)=2.27$],显示种间存在显著差异。相关性分析表明,叶脉厚度与中脉维管束直径间存在显著的相关性(图 4),说明叶脉越厚,维管束直径越大。寄主植物叶片的中脉、侧脉和肉脉维管束直径比较见图 5,种内维管束直径均为中脉>侧脉>肉脉,女贞树侧脉维管束直径大于紫药女贞和流苏。

2.4 栅栏组织和海绵组织厚度的比较

白蜡虫寄主植物栅栏组织一般有 1~3 层,栅栏组织层数在属间存在差异,白蜡树属为 1 层,女贞属较发达,有 2~3 层,流苏属次之,为 2 层。种

内栅栏组织层数无变化。栅栏组织厚度为23~130 μm ,以女贞树最厚,最薄的是美洲白蜡。海绵组织厚度为32~130 μm ,最大值为女贞树,最小值为白蜡树。栅栏组织与海绵组织的比值(P/S)为0.4~1.2,最大值为流苏,最小值为白蜡树(表2)。女贞树的P/S为1,说明女贞树栅栏组织和海绵组织厚度一致,栅栏组织和海绵组织发达。

2.5 维管束厚壁组织分布比较

维管束类型与厚壁组织细胞的数量和分布具有属、种特征。女贞属和流苏属植物为外韧形,女贞属植物韧皮部发达,韧皮部和木质部界线清晰,韧皮部外侧有零星的石细胞分布(图版2: J~R)。流苏厚壁组织细胞发达,韧皮部外缘分布环形纤维-石细胞带,木质部外侧同样分布与上表皮平行的多层纤维-石细胞带(图2: S~U)。白蜡树维管束为近周韧型,种间韧皮部形状与厚壁组织的分布有差异,美洲白蜡和白桤杆韧皮部的形状基本接近,木质部与上表皮层之间分布有纤维-石细胞。白蜡树维管束形状特殊,纤维-石细胞组织发达,维管束鞘细胞内侧分布有环状的纤维-石细胞,木质与环状纤维-石细胞带之间也分布有纤维-石细胞,将韧皮部分割为斑块状(图1: A~C)。

3 讨论

3.1 叶微形态特征对属间分类的意义

不同植物种类不仅在形态上有差异,在内部解剖结构特征上也有变化,这种变化往往也是植物分类学鉴定物种性状和研究种间亲缘关系及进化关系的重要依据。木樨科(Oleaceae)木樨属(*Osmanthus*)和丁香属(*Syringa*)植物的叶片解剖特征在主脉、栅栏组织和海绵组织的发达程度、栅栏组织与海绵组织的比值、胞间隙大小均表现出种间异质性,为木樨属和丁香属的分类提供了重要的参考价值^[25-26]。白蜡虫7种寄主植物的叶片微形态解剖结构及其数量性状特征在属、种间存在显著差异,可用于白蜡树属、女贞属和流苏属的分类参考。全世界报道白蜡树属植物有70种,女贞属约有40~50种,流苏属有2种^[10]。这些属的叶微形态结构还缺乏资料报道,本文白蜡虫的7种寄主植物叶片的解剖结构可为这些属的分类提供参考依据。

3.2 表皮结构特征与白蜡虫寄主选择性的关系

植食性昆虫与寄主植物的互作关系首先发生在表皮,表皮结构如毛、蜡,以及表皮硬度等会干扰或抑制植食性昆虫在寄主植物表面活动或者取食、产卵等行为^[20]。蚜虫与寄主植物接触后,寄主植物表皮的物理结构是影响蚜虫能否成功选择寄主植物的首要特征^[21]。马铃薯长管蚜(*Macrosiphum euphorbiae*)在寄主选择过程中受寄主植物多毛番茄(*Lycopersicon hirsutum* f. *glabratum*)表皮毛的严重影响,多毛番茄浓密的表皮毛影响到蚜虫的爬行与口针穿刺^[22]。本文的7种寄主植物中,仅有白蜡树和华南小蜡叶片表皮被腺毛,白蜡树表皮毛稀疏,华南小蜡表皮毛较密,其它的寄主植物缺少表皮毛。据结构与功能相似性分析,推断白蜡虫选择寄主植物可能不受表皮毛的影响,表皮腺毛以及密度可能阻碍白蜡虫在寄主植物表面的试探行为,延长试探时间。

小花蝽[*Orius insidiosus* (Say)]雌虫在叶片上选择表皮层和厚角组织最薄的位置为固定位点^[23]。白蜡虫7种寄主植物的中脉近轴面表皮凹陷、远轴面成肋状突出可能也是白蜡虫选择寄主植物的重要特征之一。与木樨科其它植物相比,白蜡虫寄主植物表皮和角质层较薄,可能是白蜡虫选择白蜡树属、女贞属和流苏属中这7种植物作为主要寄主的原因。下表皮比上表皮薄也许是对白蜡虫雄虫的穿刺有利,这是选择在叶背面寄生的原因之一。寄主植物表面蜡质和硬度也是影响刺吸昆虫寄主选择的重要因素^[24]。Le等认为叶片表面的蜡质是蚜虫识别寄主、启动组织穿刺的主要因素^[27]。蚜虫在寄主植物表面刺探受叶片表面蜡质影响已有较多的研究报道^[23]。因此,在叶片解剖特征研究基础上,进一步观察白蜡虫寄主植物叶片表面结构将有助于揭示白蜡虫对寄主植物的选择行为。

3.3 薄壁组织与白蜡虫取食的关系

叶片中的薄壁组织主要是栅栏组织和海绵组织。栅栏组织属于光合组织,其厚度、紧密程度等决定了植物叶片光合作用的能力和效率。海绵组织是营养组织,主要功能是气体交换和蒸腾作用。7种寄主植物叶片中,以女贞树的栅栏组织和海绵组织厚度最大,栅栏组织密度以流苏最大,其它寄

主植物较小。陈勇等测定了白蜡虫在不同寄主植物上的泌蜡量,结果表明女贞树上的白蜡虫泌蜡量最高^[28],这与女贞树的栅栏组织和海绵组织厚度可能有相关性。栅栏组织厚度对植食性昆虫的抗性之间缺乏相关性,其密度与抗虫性之间具负相关性^[26]。白蜡虫与寄主植物薄壁组织之间的关系还有待于进一步探讨。

3.4 叶脉厚度与维管束直径的线性关系与优良寄主选择

在白蜡的生产过程中,用女贞树和白蜡树放养白蜡虫的虫、蜡产量较高,因此,在生产上常用女贞树和白蜡树作为寄主植物。从白蜡虫寄主植物叶片解剖结构分析,叶脉厚度与维管束直径呈显著的线性关系,叶片越厚维管束的直径越大。7种寄主植物中,以女贞树的叶脉最厚,维管束最为发达,韧皮部的横切面积最大,此外,栅栏组织和海绵组织的厚度较厚,说明女贞树的营养物质较其它寄主植物丰富,适宜作为白蜡虫的优良寄主。白蜡树的叶脉厚度与维管束直径小于华南小蜡,其产蜡和产虫性能不如华南小蜡^[14]。白蜡生产区常用白蜡树生产白蜡可能是生产习惯。在类似白蜡虫、紫胶虫和五倍子蚜虫等资源昆虫优良寄主植物的选育中,利用叶脉厚度与维管束直径之间的线性关系评价寄主植物的营养价值可能具有一定的参考作用。

白蜡虫7种寄主植物的叶微形态结构在属、种水平上具有明显的差异,可为白蜡树属、女贞属和流苏属的系统分类提供参考。此外,也在白蜡虫选择寄主植物叶面固定位点,以及识别寄主植物的选择行为过程中提供依据。寄主植物叶片的表皮薄、中脉近轴面凹陷与远轴面成肋状突出等特征可能是白蜡虫选择固定位点的重要线索,叶片表面蜡质可能是白蜡虫识别寄主植物最为关键的因素,值得进一步探讨。中脉厚度与维管束直径间的线性关系在白蜡虫优良寄主植物选育方面可能具有一定的参考价值。从7种寄主植物的叶片结构特征上分析,白蜡虫生产中对寄主植物的选择不仅仅局限于女贞树和白蜡树,其它的寄主植物同样具有较大的推广利用价值。

参考文献

[1] Chen X M(陈晓鸣). Natural Population Ecology of *Ericerus*

pela (Chavannes) [M]. Beijing: Science Press, 2011: 26–35.(in Chinese)

- [2] Chen Y P(陈珏培), Li W L(李文良). Study on the major host plant species of lac insect, wax scale and gall aphids [J]. For Res(林业科学研究), 2001, 14(1): 100–105.(in Chinese)
- [3] Wu C B(吴次彬). *Pela* Wax Scale and Its Wax Production [M]. Beijing: China Forestry Press, 1989: 1–78.(in Chinese)
- [4] Zhang C H(张长海), Liu H Q(刘化琴), Cai J(蔡静). A study on the food habit of *Ericerus pela* (Chavannes) [J]. For Res(林业科学研究), 1992, 5(3): 361–364.(in Chinese)
- [5] Kuwana I. The Chinese white-wax scale, *Ericerus pela* Chavannes [J]. Phil J Sci, 1923, 22(4): 393–405.
- [6] Sasaki C. On the wax-producing coccid, *Ericerus pela* Westwood [J]. Bull Coll Agri, Tokyo Imp Univ, 1904(6): 1–14.
- [7] Silliman B. The Chinese white wax insect [J]. Amer Nat, 1871, 5(11): 683–685.
- [8] Ben-Dov Y, Hodgson C J. Soft Scale Insects: Their Biology, Natural Enemies and Control (7A) [M]. Amsterdam: Elsevier, 1997: 303–321.
- [9] Yano M. White wax coccid (*Ericerus pela* Chav.) [J]. Bull for Exp Stat, Meguro, Tokyo, 1915: 143–150.
- [10] Wu Z Y(吴征镒). Flora of Yunnanica Tomus 4. Oleaceae. [M]. Beijing: Science Press, 1986: 602–671.(in Chinese)
- [11] Wang Z L(王自力), Wang S Y(王绍云), Ye S D(叶寿德), et al. A study on the relation between the nutritional needs of *Ericerus pela* (Chavannes) and nutritional component of host plants [J]. For Res(林业科学研究), 2005, 18(4): 421–424.(in Chinese)
- [12] Zhao X P(赵欣平), Liu K W(刘克武), Yang S Z(杨守忠), et al. Studies on free amino acids of *Ericerus pela* and its host plant [J]. Ent Know(昆虫知识), 2001, 38(6): 459–46.(in Chinese)
- [13] Wang F(王辅), Feng C J(冯长吉). The survivorship effect of host plant *Ligustrum lucidum* Ait. nutrition on the female scale of China wax scale insect [J]. J SW Agri Univ(西南农业大学学报), 1989, 11(3): 249–252.(in Chinese)
- [14] Liu H Q(刘化琴), Zhang C H(张长海). A study on selection of host plant of the white wax scale [J]. For Res(林业科学研究), 1992, 5(3): 361–364.(in Chinese)
- [15] Zhang Z J(张振珏), Lin J Y(林锦仪), Zhang Y T(张永田). Feeding position of wax insect (*Ericerus pela*) on *Ligustrum lucidum* and the influence of parasitism on host tissue [J]. Acta Bot Yunnan(植物学报), 1993, 35(Suppl.): 19–23.(in Chinese)
- [16] Zhang Z J(张振珏), Lin J Y(林锦仪), Zhang Y T(张永田). Bark structure and seasonal variations of secondary phloem development in *Ligustrum lucidum* and *Fraxinus chinensis* [J]. J Trop Subtrop Bot(热带亚热带植物学报), 1994, 2(3): 28–

- 33.(in Chinese)
- [17] 吴立军,王素贤,尹双,等.女贞属植物的化学成分研究进展[J].沈阳药学院学报,1994,11(3):215-220.
- [18] Zhou J N(周剑宁),Ouyang M A(欧阳明安).Research advancement on the chemical constituents of *Ligustrum* [J]. Nat Prod Res Dev(天然产物研究与开发),2003,15(1):77-86.(in Chinese)
- [19] Zhang Z J(张振珏),Chen Z R(陈忠仁),Lin J Y(林锦仪),et al. The anatomy of secondary phloem and periderm of eight host tree species of *Kerria yunnanensis* [J]. Acta Bot Yunnan(云南植物研究),1994,16(4):362-366.(in Chinese)
- [20] Dixon AFG. Insect herbivore host dynamics: Tree-dwelling aphids [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2005: 18-43.
- [21] Guerrieri E, Digilio M C. Aphid plant interactions: A review [J]. J Plant Interact, 2008, 3(4): 223-232.
- [22] Musetti L, Neal J J. Resistance to the pink potato aphid, *Macrosiphum euphorbiae*, in two accessions of *Lycopersicon hirsutum* f. *glabratum* [J]. Entomol Exp Appl, 1997, 84(2): 137-146.
- [23] Jonathan G L, Janet K F, Walter E R. The influence of plant anatomy on oviposition and reproductive success of the omnivorous bug *Orius insidiosus* [J]. Anim Beh, 2008, 75(4): 1495-1502.
- [24] Zhang H J(张慧杰), Wang H J(王会金), Li J S(李建社), et al. The relationship between the fitness of host plants to *Liriomyza sativae* and the structure of leaf blades [J]. Zool Res(动物学研究), 2001, 22(2): 89-92.(in Chinese)
- [25] Shen N D(沈宁东), Wei M Q(韦梅琴), Ma W P(马文萍). A comparative study on the leaf anatomical structure of 8 species in *Synga* [J]. J Qinghai Univ (Nat Sci)(青海大学学报: 自然科学版), 2007, 25(3): 12-14.(in Chinese)
- [26] Lu L D(卢龙斗), Chang S H(常生辉), Gao W J(高武军), et al. The structure of leaf micromorphology of *Osmanthus* [J]. J Nanjing For Univ (Nat Sci)(南京林业大学学报: 自然科学版), 2008, 32(6): 52-56.(in Chinese)
- [27] Le R B, Renard S, Allo M R, et al. Ultrastructure of sensory receptors on the labium of the cassava mealybug, *Phenacoccus manihoti* Matile Ferrero [J]. Entomol Exp Appl, 1995, 77(1): 31-36.
- [28] Chen Y(陈勇), Chen X M(陈晓鸣), Wang Z L(王自力), et al. Studies on secreting wax of Chinese white wax scale: II. The comparison of secreting wax on different host plants [J]. For Res(林业科学研究), 1998, 11(3): 58-61.(in Chinese)