

欧洲栓皮栎软木构造与物理性质研究进展

刘艳贞, 雷亚芳*, 周 伟, 赵泾峰, 史小娟

(西北农林科技大学 机电学院, 陕西 杨陵 712100)

摘 要:介绍了国内外学者对欧洲栓皮栎软木宏观、微观构造的研究现状。欧洲栓皮栎软木细胞为14面体,弦切面细胞呈蜂窝状排列,横切面和径切面呈砖墙状排列;细胞壁上存在褶皱。欧洲栓皮栎软木具有密度低、弹性好、热绝缘性好、吸声减震和防水等优良物理性能。

关键词:欧洲栓皮栎;构造;物理性质

中图分类号:S792.189.08

文献标识码:A

文章编号:1001-7461(2007)06-0144-04

Research and Development of the Structure and Physical Properties of Cork from *Quercus suber* L.

LIU Yan-zhen, LEI Ya-fang, ZHOU Wei, ZHAO Jing-feng, SHI Xiao-juan

(College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: This paper reviewed the researches on the macrostructure and microstructure of cork from *Quercus suber* at home and abroad, summarized the excellent physical properties of cork from *Q. suber*. The cork cells are seen as 14 polygons, show a honeycomb-like arrangement in tangential section and resemble a brick wall in transverse and radial sections. The lateral faces of cork cells are corrugated. Cork from *Q. suber* has many good physical properties, such as low density, well elasticity, heat insulation, sound insulation, imperviousness and damp proof.

Key words: *Quercus suber*; structure; physical property

欧洲栓皮栎(*Quercus suber*)是世界软木最重要的来源树种之一。欧洲栓皮栎在地中海地区(葡萄牙、西班牙、法国南部、意大利部分地区、南非)广泛种植,其主要目的是为了采剥树皮,加工软木。欧洲拥有世界大约60%的软木森林,软木产量占世界总产量的80%。葡萄牙是软木的主要生产国之一,产量占世界总产量的一半以上^[1]。

软木具有密度低、弹性好、隔热、隔音、隔水、防潮、阻燃、柔软耐磨等优良特性,软木的利用已有上千年的历史,现代已经发展成为一个比较成熟的产业。特别是葡萄牙在软木营林、采剥、质量控制等方面的技术已经相当完备^[2],而且对软木的构造、物理化学性质的研究也比较透彻^[3]。栓皮栎(*Quercus variabilis*)是工业用软木的主要来源之一,主产亚洲,我国是栓皮栎的适生区,分布广泛,其中心分布区域为秦巴山区,年产量约5万t,占世界总产量的

1/5左右^[4]。目前,国内关于软木构造和软木产品的研究比较薄弱,因此,通过介绍外国相关方面的研究成果,对国内栓皮栎软木的研究提供参考,加强国内软木资源的研究,提高国产软木产品质量。

1 软木构造研究

1.1 软木的宏观构造

欧洲栓皮栎内皮中分生软木的组织叫木栓形成层,能生成厚的软木层^[5]。软木的主要成分是软木酯,能防止动物的撕咬和微生物的侵害^[6]。

欧洲栓皮栎一般在生长20~30a时第1次剥皮,此时采剥的软木定义为初生皮或初生软木;剥去初生皮后,木栓形成层分生形成新的软木层,再生长9a左右进行第2次采剥,得到的软木称作二次皮或二次软木,前两次剥的皮质量较差;剥去二次皮后,木栓形成层再生成的软木层定义为再生皮或再生软

收稿日期:2007-04-05 修回日期:2007-05-17

基金项目:国家林业局948项目(2005-4-68)

作者简介:刘艳贞(1982-),女,山东潍坊人,硕士研究生,研究方向为木材科学与技术。

*通讯作者:雷亚芳(1965-),女,教授,博士,主要从事木材科学与技术的教学与研究工作。

木,间隔9 a左右,得到的软木厚度2~5 cm,质量较好^[3,7]。3次以后采剥的树皮差别较小。

初生皮表面不平整,沿轴向有很多呈“V”型的沟槽。软木是由木栓细胞、石细胞和一个棕黑色外层区域组成。初生皮的结构、厚度和密度不均匀,粗糙、硬度大、易碎。常常用来做软木板、绝缘板、垫圈、鞋底等^[8]。

二次皮较初生皮规则一些,沟槽较少也较浅,质量较好,但是还不足以用于生产软木塞。一般只有再生皮才能作为软木塞的原料。但是几乎所有的软木都可以做软木聚结板。

1.2 软木的微观构造

国外在软木构造方面已经做了大量的研究。1664年,胡克(Hooke)首次在显微镜下观察软木组织切片,并将看到的空腔定义为植物细胞^[9]。软木细胞是薄壁细胞,排列规则,是无细胞间隙的密闭体。Pereira^[3]发现软木细胞是一种小形体细胞,放大1 000倍左右后呈粒状球形。他还建立14面体形状的软木细胞数学模型,得到了大多软木研究者的认

可。软木细胞沿轴向对称,相邻面之间紧密结合^[6]。软木结构的变异性很大,从不同树上采得的软木有很大的变异性^[3]。

栓皮栎树皮的外皮上存在透镜状的通道,称为皮孔,呈放射状排列^[5,10]。气孔的通道近似圆柱体,通常是中空的。Lewis等在检测影响软木利用的各种缺陷时,研究了气孔对软木利用的影响。结果表明:气孔所占的比例很大程度上会影响软木的质量,并与软木的利用有密切关系。国外根据软木上皮孔的大小和所占的面积划分软木的等级,皮孔越大,所占的面积越大,质量越差^[11]。

1987年,Pereira等^[3]第一次用扫描电镜对软木构造进行了观察(图1)。弦切面软木细胞呈蜂窝状排列(图1a);径切面和横切面上软木细胞呈砖墙结构或齿槽结构排列(图1b)。软木细胞三切面上多边形的边数为4~9,五边形、六边形和七边形最多;弦切面上这3种多边形约占总数的95%,径切面和横切面上3种多边形总数分别占94%和93%,其中六边形分别占53%和56%。

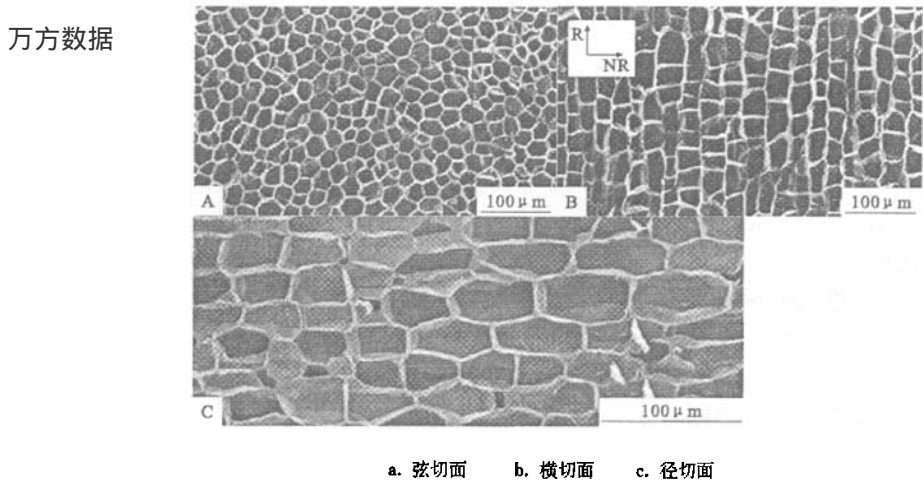


图1 欧洲栓皮栎天然软木的SEM微观构造

Fig. 1 The SEM micrographs of natural cork from *Q. suber*

软木细胞的平均直径与生长季节有关。与秋季形成的木栓细胞(晚木栓细胞)相比,春季形成的木栓细胞(早木栓细胞,与木材学上的早材细胞相对应)直径较大,细胞壁较薄。早木栓细胞棱柱高30~40 μm,棱柱底边边长13~15 μm,平均底面积4×10⁻⁶~6×10⁻⁶ μm²,细胞壁厚1~1.5 μm。晚木栓细胞棱柱的高度较低,大部分细胞高度在10 μm以下,细胞壁厚约为早木栓细胞壁厚的2倍。早木栓细胞每平方厘米有4×10⁷~7×10⁷个细胞,晚木栓细胞每平方厘米有10×10⁷~20×10⁷个细胞。表1列出了早、晚木栓细胞尺寸^[1,3]。

表1 不同生长阶段的软木细胞尺寸

Table 1 The dimension of cork in different growing stages

细胞尺寸	早木栓细胞	晚木栓细胞
棱柱高度/μm	30~40	0~10
棱柱底边长/μm	13~15	
平均底面积/μm ²	4×10 ⁻⁶ ~6×10 ⁻⁶	
细胞壁厚/μm	1.0~1.5	0~2
每平方厘米内细胞数量/个	4×10 ⁷ ~7×10 ⁷	10×10 ⁷ ~20×10 ⁷

棱柱状软木细胞的重要特征是其侧面有褶皱。细胞壁上有2~3个完全褶皱,Pereira^[3]观察到的软

木褶皱是不规则的完全褶皱(图 2)。细胞壁有的几乎是直的,有的存在严重的褶皱,而有些细胞已经破裂。有的软木细胞的底边呈波状,但没有观察到严重的褶皱。在生长轮开始的地方,靠近前一生长轮最后形成的细胞,侧面褶皱最为明显。侧面褶皱可能是由细胞和树皮生长过程中产生的应力导致的。早木栓细胞的细胞壁薄,有的细胞甚至完全破裂;而晚木栓细胞的细胞壁较厚,棱柱高度较低,侧壁上的褶皱较少。褶皱明显或破裂的早木栓细胞为生长轮提供了一个明显的界线^[1,3]。

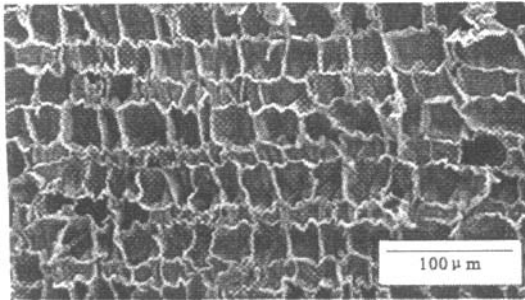


图 2 横切面上欧洲栓皮栎软木细胞壁褶皱的 SEM 显微照片(煮沸之后)

Fig. 2 SEM micrograph of tangential section showing corrugation of natural cork from *Q. suber* (after boiling)

由于软木细胞径向、弦向和横向的结构不一致,因此,软木细胞结构具有各向异性,也导致了软木性质的各向异性。软木细胞是闭合的、中空的,内部充满气体,填充的气体类似于空气^[12]。软木细胞的特殊结构使其具有比重低、弹性好、隔热、隔音等优良物理性能^[6]。

2 软木的物理性质

软木的物理性能与软木的应用有密切关系。其独特物理性质如低密度、热绝缘性、不透水性、高弹性、耐磨、吸震隔音等为它在工业方面的应用奠定了基础。

2.1 低密度

软木的密度很低,且变化范围大($120 \sim 240 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$)。软木的密度受其生长阶段(初生软木或再生软木)和处理方式(天然或蒸煮)影响较大^[13]。细胞壁的密度变化很小。Gibson 等^[6]计算出细胞壁材料的密度为 $1150 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$,软木平均密度为 $170 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$,平均密度与木栓细胞壁材料密度的比值约为 0.15。可见软木密度的变化与细胞尺寸(高度、直径和细胞壁厚)、细胞的褶皱以及气孔所占的体积比有关。高密度时则存在厚的、有明显褶皱的细胞壁

和低的气孔体积比^[6,8]。

2.2 热绝缘性

软木是热绝缘体,保温性能好。若将软木投入到液体氮中(接近绝对零度),软木仍保持弹性和内聚性^[14]。这种优良的热绝缘性主要是由软木细胞特殊的构造决定的,细胞的尺寸因素以及细胞内充满的气体是产生这种性质的主要原因。热是通过传导(主要是靠结构中的固体物质)、对流(只对大量体积的气体有作用)和辐射(在细胞尺寸中很少起作用)的方式传递的。在软木中,只有细胞壁的热传导有一定的作用,而细胞壁的导热性能也仅仅略高于细胞内的气体。软木的导热性能很差,欧洲栓皮栎软木的导热系数为 $0.045 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$,热扩散率为 $1 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ^[1],因而软木是一种优良的热绝缘材料。

2.3 吸音减震性能好

由于软木具有低密度和多孔性,因而成为优良的吸音、减震材料。通过软木的声波大部分能被吸收,很少反射,尤其是膨化的软木板或黑色软木聚结板效果最好。欧洲栓皮栎软木的声阻大约为 $1.2 \times 10^5 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ^[1]。因而软木是一种良好的隔音材料,常用来做吸音板和缓冲垫^[16]。

2.4 弹性强

软木具有弹性,受压后尺寸恢复性好。若对软木施加载荷,将软木厚度压缩至原厚度的 $1/3$ 时,软木中细胞不受丝毫损坏^[13]。软木的可压缩性与细胞腔内含有的气体比例有关。据研究,去掉压力时,软木体积便可恢复到原尺寸的 85% ;24 h 后,可恢复到原尺寸的 94% ^[12]。

2.5 耐磨性好

软木的耐磨性能好,摩擦系数大。软木摩擦系数为 $0.4 \sim 1.2$,远高于皮革和橡胶,因此软木的摩擦力大。但软木的摩擦系数是各向异型的,弦切面的摩擦系数较横切面和径切面的高。软木的摩擦系数与含水率、温度、表面粗糙度等因素有关^[16]。

2.6 容湿性好,渗透性差

软木细胞是空腔细胞,水可将细胞中的空气全部排出。水分主要贮存在空的细胞腔中,因而软木细胞的容湿性能好,其容水率可达到 400% 。但吸着水很少^[17],水分很难通过细胞壁且很难与细胞壁中的化学成分结合而存在于细胞壁中,即软木的渗透性差。因此,水分在软木中只能以自由水的形式存在于细胞腔内。所以,软木的高容湿性和低渗透性差并不矛盾。

另外,软木还有耐压缩性、防滑性、抗静电性等优良的性质,也是优良的电绝缘体。

3 结论

我国的软木树种主要为栓皮栎,其中心产区为安徽大别山、陕西秦岭、河南伏牛山、桐柏山和鄂西、川东一带,软木原料质量以秦岭山区为最佳。我国的软木工业起步比较晚,到目前为止,还没有对我国栓皮栎软木的结构、物理性质和化学成分进行过系统地研究。另外,我国栓皮栎的资源也缺乏妥善管理,欧洲种植的欧洲栓皮栎平均产栓皮量为 $0.16 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,而我国种植的栓皮栎单产约 $0.002 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,仅为欧洲栓皮栎栓皮产量的 1.25% ^[18]。因此,应该加强我国栓皮栎林的管理,提高栓皮栎林的单株产量。

国外对欧洲栓皮栎软木的结构、物理性质和化学成分都进行了细致的研究,并以此为基础开发软木产品,使得软木的应用向高附加值和加工精密产品的方向发展。世界软木资源并不丰富,是一种比较稀缺的资源,但世界对软木的需求量逐年增加,据葡萄牙国家统计局 2001 年公布的数据显示,2000 年上半年葡萄牙软木产品出口额达 4.64 亿欧元,比上一年同期增长 910 万欧元;同时,软木进口也呈上升趋势,2000 年上半年的进口额为 7 700 万欧元,比 1999 年同期翻了一番^[19]。

我国对栓皮栎软木研究较少,也限制了以栓皮栎软木材料为原料的产品开发。因此,应该通过对软木的研究,进一步提高软木的深加工利用率和开发高附加值的软木产品。

参考文献:

- [1] Silva S P, Sabino M A, Fernandes E M, et al. Cork: properties, capabilities and applications [J]. *International Materials Reviews*, 2005, 50(6): 345-365.
- [2] 曾新德. 葡萄牙软木工业的现状与发展趋势[J]. *林产化工通讯*, 1995(5): 25-27.
- [3] Pereira H. The cellular structure of cork from *Quercus suber* L. [J]. *IAWA Bulletin*, 1987, 8(3): 213-217.
- [4] 郑志峰. 软木资源及其利用[J]. *云南林业*, 2005, 26(3): 23-24.
- [5] Graca J, Pereira H. The periderm development in *Quercus suber* L. [J]. *IAWA*, 2004, 25(3): 325-335.
- [6] Gibson L J, Easterling K E. The structure and mechanics of cork [J]. *Proc. R. Soc. Lond.*, 1981, A377: 99-117.
- [7] Elvira C. Chemical characterization of reproduction from Spanish *Quercus suber* L. [J]. *Journal of Wood Chemical and Technology*, 1998, 18(4): 447-469.
- [8] Cumbre F, Lopes F, Pereira H. The effect of water boiling on annual ring width and porosity of cork [J]. *Wood Fiber Sci.*, 2000, 32(1): 125-133.
- [9] Hooke R. *Micrographia* [M]. London: The Royal Society, 1664: 112-121.
- [10] Beate G. Water and oxygen permeance of phellerns isolated from trees: the role of waxes and lenticels [J]. *Planta*, 2002, 215: 794-801.
- [11] Pereira H, Ferreira M E. Scanning electron microscopy observations of insulation cork agglomerates [J]. *Sci. Eng.*, 1989, A111: 217-225.
- [12] 官诤. 软木(栓皮)材料的漂白和染色技术研究[D]. 北京: 中国林业科学院, 2003.
- [13] 李华. 葡萄酒的软木塞封装[J]. *酿酒*, 1994(6): 1-2.
- [14] 孙雪梅. 软木塞的特性及其在葡萄酒生产中的应用[J]. *葡萄栽培与酿酒*, 1998(2): 32-33.
- [15] 杜子伟. 软木制品及应用[M]. 北京: 中国林业出版社, 1989.
- [16] Vaz M F, Fortes M A. Friction properties of cork [J]. *J. Mater. Sci.*, 1998, 33: 2087-2093.
- [17] Parameswaran N, Liese W. G. Characterization of wet cork in *Quercus suber* L. [J]. *Holzforschung*, 1981, 35: 195-199.
- [18] 高根虎, 卢从祥. 陕西省软木工业发展的优势及对策[J]. *陕西林业科技*, 2002(1): 63-65.
- [19] 赵戈, 段新芳. 世界软木利用现状和我国软木工业发展对策[J]. *世界林业研究*, 2004, 17(5): 25-28.