



栓皮栎采伐剩余物解剖特性研究

赵鹏辉 赵西平 郭平平 杨永强 柳子好 常冰冰

Study on Anatomical Characteristics of Logging Residues of *Quercus variabilis*

Zhao Penghui, Zhao Xiping, Guo Pingping, Yang Yongqiang, Liu Ziyu, Chang Bingbing

引用本文:

赵鹏辉, 赵西平, 郭平平, 杨永强, 柳子好, 常冰冰. 栓皮栎采伐剩余物解剖特性研究[J]. 西南林业大学学报, 2022, 42(6):177–182. doi: 10.11929/j.swfu.202107069

Zhao Penghui, Zhao Xiping, Guo Pingping, Yang Yongqiang, Liu Ziyu, Chang Bingbing. Study on Anatomical Characteristics of Logging Residues of *Quercus variabilis*[J]. Journal of Southwest Forestry University(Natural Science), 2022, 42(6):177–182. doi: 10.11929/j.swfu.202107069

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11929/j.swfu.202107069>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

农杆菌介导的栓皮栎体胚遗传转化初步研究

Preliminary Investigations on Agrobacterium-mediated Transformation of Somatic Embryos in *Quercus variabilis*
西南林业大学学报. 2021, 41(5): 58–63 <https://doi.org/10.11929/j.swfu.202006006>

青冈栎天然林木材的解剖特征及基本材性研究

Wood Anatomical Characteristics and Basic Properties of *Cyclobalanopsis glauca* Natural Forest
西南林业大学学报. 2018, 38(2): 206–210 <https://doi.org/10.11929/j.issn.2095-1914.2018.02.034>

饱水清代木材的构造腐朽程度及加固处理对其颜色的影响

The Influences of the Anatomical Structure and Deterioration State of Wood from a Qing Dynasty Shipwreck on Wood Color After the Consolidation Treatment
西南林业大学学报. 2020, 40(1): 132–138 <https://doi.org/10.11929/j.swfu.201903133>

冀北山区不同坡向白桦木材解剖特性径向变异研究

Radial Variation of Anatomical Properties of *Betula platyphylla* Wood in Different Slope Directions of Northern Hebei Province
西南林业大学学报. 2018, 38(3): 157–165 <https://doi.org/10.11929/j.issn.2095-1914.2018.03.023>

基质及多菌灵对水分胁迫下芳樟扦插苗根系活力的影响

Effects of Substrates and Carbendazim on Root Activity of Cutting Seedling of *Cinnamomum camphora* var. *linaloolifera* Under Water Stress
西南林业大学学报. 2018, 38(3): 8–14 <https://doi.org/10.11929/j.issn.2095-1914.2018.03.002>

川滇高山栎光合特性对不同海拔梯度的响应

Responses of Photosynthetic Characteristics to Different Altitudes of *Quercus aquifolioides*
西南林业大学学报. 2021, 41(6): 47–53 <https://doi.org/10.11929/j.swfu.202006067>

DOI: [10.11929/j.swfu.202107069](https://doi.org/10.11929/j.swfu.202107069)

引文格式: 赵鹏辉, 赵西平, 郭平平, 等. 栓皮栎采伐剩余物解剖特性研究 [J]. 西南林业大学学报 (自然科学), 2022, 42(6): 177–182.

栓皮栎采伐剩余物解剖特性研究

赵鹏辉 赵西平 郭平平 杨永强 柳子好 常冰冰

(河南科技大学园艺与植物保护学院, 河南 洛阳 471000)

摘要: 以河南龙峪湾林场的栓皮栎为研究对象, 对其树枝和树根解剖构造进行分析, 为其加工利用提供基本参数。结果表明: 栓皮栎树枝和树干一样, 呈现环孔材特征, 早材管孔大, 呈单行排列, 晚材导管呈辐射状排列。树根木质部呈现半环孔材特征, 早晚材导管区别不明显, 单管孔, 呈径列分布。树枝处纤维长度为 822.436 μm , 宽度为 13.527 μm , 长宽比为 62.354, 壁腔比为 0.510, 纤维占比 61.677%; 树根的纤维长度为 991.929 μm , 宽度为 17.062 μm , 壁厚为 8.101 μm , 长宽比为 63.155, 壁腔比为 0.980, 纤维占比 64.667%。树枝木射线高度与宽度为 264.305 μm 、16.062 μm , 射线占比 21.127%; 树根木射线高度与宽度为 355.739 μm 、23.917 μm , 射线占比 23.725%。树枝的薄壁组织的分布和树干类似, 在早材内呈环管状, 在晚材呈带状排列; 树根的早晚材薄壁组织均呈带状排列。栓皮栎树根和树干满足造纸用纤维原料指标, 树根的导管大小低于树干, 在纸张印刷时, 导管黏出的概率低于树干, 可提高印刷效率。

关键词: 栓皮栎; 树枝; 树根; 木材解剖特性

中图分类号: S781.1

文献标志码: A

文章编号: 2095-1914(2022)06-0177-06

Study on Anatomical Characteristics of Logging Residues of *Quercus variabilis*

Zhao Penghui, Zhao Xiping, Guo Pingping, Yang Yongqiang, Liu Ziyu, Chang Bingbing

(College of Horticulture and Plant Protection, Henan University of Science and Technology, Luoyang Henan 471000, China)

Abstract: Taking *Quercus variabilis* in Longyuwan forest farm of Henan Province as the research object, this paper studies the anatomical structure of its branches and roots in order to provide basic parameters for its processing and utilization. The results showed that the branches of *Q. variabilis* are the same as the trunk, showing the characteristics of ring-hole wood, the pipe holes of early wood are large and arranged in a single line, and the pipes of late wood are arranged in a radial manner. The xylem of tree root presents the characteristics of semi-ring hole wood, the difference between early and late wood vessels was not obvious, and the single pipe hole was distributed in diameter column. The fiber length at the branch was 822.436 μm , width 13.527 μm , length width ratio was 62.354, wall cavity ratio was 0.510, and the fiber accounted for 61.677%. The fiber length of tree root was 991.929 μm , width 17.062 μm , the wall thickness was 8.101 μm , the length width ratio was 63.155, the wall cavity ratio was 0.980, and the fiber accounted for 64.667%. The ray height and width of branches were 264.305 μm ,

收稿日期: 2021-07-29; 修回日期: 2021-09-13

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31000265, 32171701) 资助。

第1作者: 赵鹏辉 (1996—), 男, 硕士研究生。研究方向: 生物木材学。Email: zph1996up@163.com。

通信作者: 赵西平 (1977—), 男, 博士, 教授。研究方向: 生物木材学。Email: zhaoxiping1977@126.com。

16.062 μm , ray accounted for 21.127%, and the root was 355.739 μm , 23.917 μm , accounting for 23.725%. The distribution of parenchyma of branches is similar to that of trunk, which is ring tubular in early wood and banded in late wood. The parenchyma of early and late wood of tree roots were arranged in bands. The root and trunk of *Q. variabilis* meet the fiber raw material index for papermaking. The duct size of the root was lower than that of the trunk. During paper printing, the probability of duct sticking out was lower than that of the trunk, which can improve the printing efficiency.

Key words: *Quercus variabilis*; branch; root; wood anatomy

栓皮栎 (*Quercus variabilis*) 属壳斗科 (Fagaceae) 栎属 (*Quercus*) 植物, 广泛分布于我国华北、西北等 20 多个省区, 主要生长在海拔 800 ~ 1600 m, 是我国暖温带落叶阔叶林主要树种之一, 河南是其主要产地之一^[1]。栓皮栎的加工与利用目前主要集中在树干部位, 软木制作各类软木家具、地板和红酒塞等^[2], 木材主要用于制作各类实木家具、大型支撑材料。其树枝和树根的利用率不高, 主要是用于烧制木炭, 培养菌类等^[3]。对于栓皮栎树枝和树根是否可用于造纸用纤维原料尚未见报道。

造纸工业中使用的植物纤维原料众多, 可大体分为非木材纤维原料、半木材纤维原料和木材纤维原料^[4]。目前我国的纸浆总量中有 65% ~ 75% 是用草类原料生产的^[4], 草类生产的纸张其品种单一, 质量较差, 处理不好的废液还会对生态产生重大影响^[5]。木材纤维原料得浆率高、生产工艺先进、废液处理技术成熟、纸张质量好、强度大^[6]。使用更好的木材纤维显然更符合现代人们生活的需求^[6]。但是, 由于我国的木材资源匮乏, 导致造纸类木材纤维极度依赖进口^[7-8], 且形势十分严峻。针对我国木材资源紧张的问题, 上世纪 80 年代, 就有学者提出全树利用的概念^[9], 特别是强化采伐剩余物 (即枝丫材、树桩以及树根等) 的高效利用^[10]。由于林间道路崎岖, 大部分的运输设备和加工设备无法进入, 导致大量的采伐剩余物被丢弃在林间, 大量的森林资源被浪费^[11]。近年来, 随着采运设备和加工设备的革新^[12-13], 采伐剩余物木材资源再次得到重视。目前, 我国的本土木材纤维资源中, 使用最多的是针叶材, 反观日本等造纸工业大国, 造纸时使用的阔叶材树种占据 60% 以上^[4], 所以强化阔叶材的研究和利用应该更为重要, 尤其是一些多用途树种, 比如栓皮栎。本研究对栓皮栎树枝和树根的木材解剖构造进行了研究, 为其应用于造纸或纤维原料

提供基本参数。

1 材料与方法

1.1 实验材料来源

实验材料取自龙峪湾林场, 该林场位于河南省洛阳市西南 165 km 伏牛山腹地的栾川县境内, 地处东经 111°40' ~ 111°49', 北纬 33°39' ~ 33°46', 海拔 1083 m, 森林覆盖率达 98.6%。从龙峪湾的栓皮栎林中选择 3 棵生长状况良好, 无病虫害的样树 (表 1), 从样树的树枝和树根取样, 样段直径 6 ~ 10 cm。同时, 在树高 1.3 m 处南向使用生长锥打出树芯。

表 1 样树的基本数据
Table 1 Basic data of sample trees

序号	胸径/cm	树高/m	枝下高/m	冠幅/m ²
1	17.9	15.3	5.5	3.5
2	18.5	17.9	5.9	4.7
3	19.5	20.2	7.8	5.1

1.2 实验方法

栓皮栎树枝和树根的样材切出 1 cm × 1 cm × 1 cm 的小木块, 从树芯中间切取 1 cm 长的小段, 然后使用丙三醇和无水乙醇合液 (体积比为 1 : 1) 进行软化处理。在 RM 2235 徕卡切片机 (徕卡微系统有限公司, 德国) 上切出木材试样的三切面薄片 (15 μm)^[14], 然后使用番红染色。使用硝酸 (30%) - 氯化钾法对木材进行离析, 离析的分子材料和染色切片使用 DM 2500 徕卡显微镜 (徕卡微系统有限公司, 德国) 进行拍照, 最后使用 TDY-5.2 木材解剖测量系统进行数据测量。

在横切面上测量木材导管、纤维、射线和薄壁细胞组织比量, 导管径弦向直径重复测量 100 个, 取平均值。在径切面上射线细胞宽度及高度重复测量 100 个, 取平均值。在弦切面上木射线

的宽度及高度重复测量 30 个, 取平均值。分子离析的木纤维, 测量其长度、宽度、径腔和双壁厚, 重复测量 100 个, 取其平均值^[15-16]。

1.3 分析方法

数据采用 SPSS 22.0 进行分析, 对各数据进行因素方差分析, 各部位间进行多重比较, 并采用邓肯新复极差检验法检验差异的显著性水平。

2 结果与分析

2.1 木材组织基本构造

栓皮栎树枝树干为环孔材 (图 1a、1d), 早材管孔大, 管孔为圆形或卵圆形, 单行排列。晚材管孔小, 呈现辐射状, 与冯德君等的研究结果类似^[17]。树根部位呈现出半环孔材特征 (图 1g),

早晚材区别不明显, 早晚材导管呈现星散状。树根与树枝树干的这一差异性, 可能是由于地上地下生长环境不同发生的改变^[18], 因为环孔材相比散孔材, 在进行水分运输时容易发生栓塞和空穴^[19], 而散孔材发生栓塞的概率小于环孔材^[20]。

栓皮栎木射线十分明显, 肉眼可见。树枝、树根和树干都为同型单列木射线 (图 1c、1i), 树干处有聚合木射线 (图 1f), 汪师孟等^[21]研究结果中也发现有聚合木射线。树根径切面处射线细胞为异型单列 (图 1h)。

栓皮栎轴向薄壁组织发达, 树枝和树干早材处, 薄壁细胞呈现环管状 (图 1a), 晚材处呈现带状 (图 1a), 树根早晚材的薄壁组织均呈现带状排列 (图 1g)。

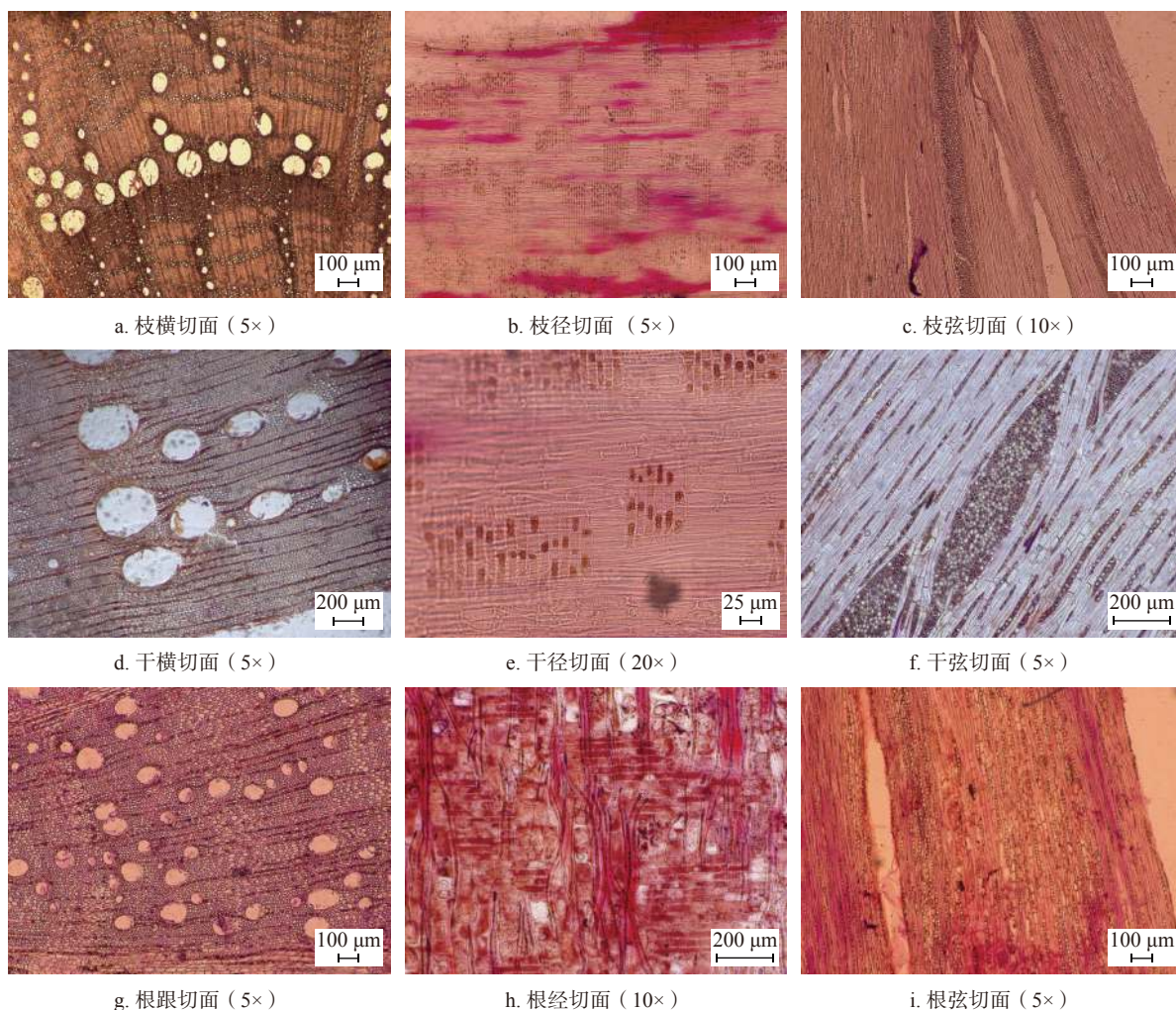


图 1 栓皮栎各部位解剖构造

Fig. 1 Anatomical structure of different parts of *Q. variabilis*

由表 2 可知, 栓皮栎次生木质部有 60% 左右的木纤维, 在树根、树干和树枝次生, 木纤维的组织比量在木质部之间存在差异不显著。在造纸

时, 原料的纤维含量越高, 其得浆率高, 废杂物少, 一般要求木纤维含量达到 50% 以上^[22]。栓皮栎各部位纤维比量均大于 50%, 其中树根处的纤

维比量最大,占比达 64% 以上。各部位的纤维含量均满足造纸时纤维含量指标。仅从纤维含量来看,在选择时树根部位的优先级大于树枝和树干。对比我国目前造纸常用树种之一速生杨属 (*Populus*),从纤维含量来看,在杨属木材中,纤维含量达 63% 属于优秀的造纸原料^[22]。栓皮栎树枝和树根的纤维占比与杨属优质造纸原料含量差距很小,符合优质造纸原料的基本要求。

表 2 栓皮栎早晚材不同部位组织比量的多重比较

Table 2 Multiple comparisons of tissue ratios in different parts of early and late wood of *Q. variabilis*

项目	指标	树枝/%	树干/%	树根/%
早材	射线比量	21.172 ± 1.110 ^a	16.525 ± 1.805 ^a	23.725 ± 2.912 ^a
	导管比量	12.333 ± 2.035 ^a	24.333 ± 2.811 ^b	11.666 ± 2.903 ^a
	纤维比量	61.677 ± 2.712 ^a	59.000 ± 2.631 ^a	64.667 ± 1.315 ^a
	薄壁组织比量	5.175 ± 0.785 ^a	4.985 ± 0.875 ^a	5.545 ± 0.885 ^a
晚材	射线比量	26.906 ± 3.103 ^a	23.766 ± 4.325 ^a	19.835 ± 0.773 ^a
	导管比量	3.886 ± 0.402 ^a	2.752 ± 0.417 ^a	6.010 ± 1.734 ^a
	纤维比量	59.211 ± 2.684 ^a	64.481 ± 3.970 ^a	64.151 ± 1.080 ^a
	薄壁组织比量	11.187 ± 1.125 ^a	10.058 ± 1.187 ^a	9.258 ± 1.025 ^a

注:不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

薄壁组织在早材和晚材间的差异均不显著。薄壁组织分为轴向薄壁组织和射线薄壁组织,两者相互垂直,在进行组织比量的测定时,测定的是轴向薄壁组织。轴向薄壁组织主要执行的有转运和机械支撑等作用^[23]。通过对栓皮栎各部位早晚材的对比中发现,晚材部位薄壁组织占比均高于早材部位,差值接近 2 倍。早材部位树根处薄壁组织比量最大,树干处最小;晚材部位中树枝处薄壁组织比量最大,树根处最小。出现这一差距的原因可能是因为轴向薄壁组织和导管、纤维等其他细胞类型在空间分布上存在一定的权衡关系^[24]。

树枝、树干和树根晚材导管比量差异不显著,但树干早材导管比量与树枝和树根处呈现显著差异 ($P < 0.05$),树干处早材导管比量明显大于树枝和树根 2 倍左右。各部位木射线的差异呈现不显著,且早晚材射线比量区别不大。

2.2 树枝和树根木纤维尺寸差异

由表 3 可知,树枝树根处纤维宽度为 13.527、17.062 μm ,长宽比均达 60 以上,壁腔比为 0.51 和 0.98。除纤维径腔和长宽比外,其他指标均呈现显著差异性 ($P < 0.05$)。根据纤维长度的分级标准,大于 1600 μm 为长纤维,900 ~ 1600 μm 为中等纤维,小于 900 μm 为短纤维^[25],栓皮栎根材和干材属于中等纤维,枝材属于短纤维。从长宽比来看,树枝和树根处长宽比均达 60 以上,属于细长型纤维,符合优质造纸原料的要求。从纤

维形态来看,栓皮栎根材和干材符合造纸优质原料标准。另一方面,从目前对使用速生杨属木材作为造纸原材料的研究中发现,杨属木材的纤维长度平均值在 1100 μm 左右,宽度在 22.3 μm 左右,长宽比的平均值为 49.57^[26],与栓皮栎的树枝和树根的纤维指标做对比,栓皮栎的纤维长度和宽度均低于杨木,但均高于国际要求的中等纤维长度,栓皮栎枝材和根材的长宽比均高于杨属木材。

表 3 栓皮栎树枝树根纤维指标多重比较

Table 3 Multiple comparison of fiber indexes of branches and roots of *Q. variabilis*

项目	树枝/ μm	树根/ μm
纤维长度	822.436 ± 23.071 ^a	991.929 ± 30.814 ^b
纤维宽度	13.527 ± 0.256 ^a	17.062 ± 0.485 ^b
纤维径腔	9.141 ± 0.189 ^a	9.049 ± 0.152 ^a
纤维壁厚	4.387 ± 0.226 ^a	8.101 ± 0.429 ^b
长宽比	62.354 ± 1.925 ^a	63.155 ± 2.755 ^a
壁腔比	0.510 ± 0.032 ^a	0.980 ± 0.058 ^b

注:不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

2.3 各部位木射线及射线细胞尺寸差异

由表 4 可知,树根的木射线高度与宽度值为 355.739 μm 和 23.917 μm ,均大于树枝和树干。高度差异不显著,但是宽度差异显著 ($P < 0.05$)。树根处射线细胞高度与宽度值为 11.892 μm 和 91.517 μm ,均大于树枝和树干处,且各部位射线细胞宽度呈现显著差异 ($P < 0.05$)。说明树根部

位的木射线发达，高于树枝和树干。射线细胞为长方形的块状结构的物质，细胞壁高度木质化，其形态结构和表面积小，造成其粘接能力差，造纸时需要通过特殊的化学处理减少其起毛倾向^[27]。

表 4 栓皮栎各部位木射线高度与宽度多重比较

Table 4 Multiple comparison of height and width of wood rays in different parts of *Q. variabilis*

项目	指标	树枝/ μm	树干/ μm	树根/ μm
木射线	高度	264.305 ± 35.669^a	275.057 ± 30.131^a	355.739 ± 26.639^a
	宽度	16.062 ± 0.713^a	16.391 ± 0.792^a	23.917 ± 1.121^b
射线细胞	高度	8.887 ± 0.163^a	9.079 ± 0.282^a	11.892 ± 0.228^b
	宽度	41.719 ± 1.202^a	49.021 ± 1.883^b	91.517 ± 3.151^c

注：不同小写字母表示差异显著（ $P < 0.05$ ）。

2.4 各部位导管尺寸差异

由表 5 可知，早材导管直径为树干 > 树根 > 树枝，差异显著（ $P < 0.05$ ），晚材差异不显著。树干处导管的管径最大，直径为 $326.660 \mu\text{m}$ 。根据国际木材解剖学会的导管分子宽度分级标准^[28]，树枝树根处属于稍大，树干处属于大。在造纸工

业中，导管越大，黏出的可能性就越高，黏出的导管在印刷过程中会在印刷毯上聚集，需要不断清洗，进而影响了印刷机的效率^[29]。虽然通过打浆等方法可以降低导管黏出的可能，但需要控制其游离度，过度可能造成影响^[28,30]，所以在选材时尽量选择导管形状小的原材料。

表 5 栓皮栎早晚材各部位导管直径多重比较

Table 5 Multiple comparison of vessel diameter in different parts of early and late wood of *Q. variabilis*

项目	指标	树枝/ μm	树干/ μm	树根/ μm
早材	径向直径	113.051 ± 7.413^a	326.660 ± 29.221^b	124.030 ± 9.103^a
	弦向直径	77.342 ± 5.901^a	178.198 ± 13.308^b	73.615 ± 5.589^a
晚材	径向直径	41.660 ± 1.970^a	41.015 ± 2.400^a	44.902 ± 4.112^a
	弦向直径	29.812 ± 1.910^a	27.678 ± 1.912^a	28.603 ± 1.900^a

注：不同小写字母表示差异显著（ $P < 0.05$ ）。

3 结论

栓皮栎树枝是典型环孔材，早晚材区别明显，树根呈现半环孔材特征，早晚材区别不明显。栓皮栎树根部位木纤维的长度、宽度、径腔、双壁厚、长宽比和径腔比为 $991.929 \mu\text{m}$ 、 $17.062 \mu\text{m}$ 、 $9.049 \mu\text{m}$ 、 $8.101 \mu\text{m}$ 、 63.155 和 0.890 ，其各项数据均符合造纸材料的要求，可以用于造纸。栓皮栎的木射线发达，根的木射线高度与宽度值为 355.739 、 $23.917 \mu\text{m}$ ，均大于树枝和树根，但是在造纸时可能会造成纸张起毛，需特殊处理。栓皮栎树枝、树根和树干的导管直径在国际木材解剖学会的分级里，树枝树根属于稍大，树干处属于大，表明枝材和根材进行造纸时，其出现黏出的可能性低于树干部位，使用树枝和树根进行制浆，效率可高于树干。本研究主要是从解剖特征和纤维形态方面进行研究，具体其是否可用于造纸需要进一步进行化学性质的研究。

[参 考 文 献]

[1] 雷静品, 肖文发, 刘建锋. 我国栓皮栎分布及其生态学研究 [J]. 世界林业研究, 2013, 26(4): 57-62.

[2] 雷亚芳, 刘艳贞, 周伟, 等. 栓皮栎软木的微观构造 [J]. 林业科学, 2009, 45(1): 167-170.

[3] 陈晓东. 栓皮栎的综合利用 [J]. 花卉, 2018(12): 192-193.

[4] 李金花, 宋红竹, 薛永常, 等. 我国制浆造纸木材纤维原料的现状与发展对策 [J]. 世界林业研究, 2003, 16(6): 32-35.

[5] 杨淑蕙. 植物纤维化学 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2001.

[6] 顾民达. 加快林纸结合步伐 实现造纸工业现代化 [J]. 中华纸业, 2001, 22(12): 44-49.

[7] 郝家田, 王孝康, 侯晓巍. 我国森林资源采伐消耗特点分析 [J]. 林业资源管理, 2014(Z1): 44-47.

- [8] 董章宏,尹亚梅,徐剑,等.滇杨雌、雄株茎叶解剖结构差异分析[J].云南农业大学学报(自然科学),2020,35(3):502-510.
- [9] 赵立岗.全树利用的世界性趋势[J].林业机械,1983,11(1):47-49.
- [10] 李静,王兆君.我国森林采伐剩余物利用研究[J].安徽农业科学,2010,38(7):3787-3789.
- [11] 马岩.林间剩余物热电联产综合开发模式研究[J].木材加工机械,2006,17(5):10-13.
- [12] 李辉.移动式林间枝桠材剥皮机的设计与运动模拟[D].哈尔滨:东北林业大学,2015.
- [13] 王执煜,齐永峰,丛喜东.PLC自动控制系统在液压式枝丫材打捆机中的应用[J].林业机械与木工设备,2018,46(6):36-38.
- [14] 时学庆,刘美爽.含水率对木材缺陷红外热成像效果的影响[J].西部林业科学,2020,49(5):59-64.
- [15] 李有贵,楚永兴,冉茂亚,等.华盖木解剖构造特征研究[J].西南林业大学学报(自然科学),2020,40(2):161-166.
- [16] 沈华杰,邱坚,杨玉山,等.6种木材的解剖特征与物理力学性能分析[J].西南林业大学学报(自然科学),2020,40(2):149-154.
- [17] 冯德君,张文辉,赵涇峰,等.陕西不同天然类型栓皮栎木材的构造与性质[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2014,42(8):93-98.
- [18] 赵西平,张超男,刘高均,等.蒙古栎次生木质部解剖结构分析[J].西南林业大学学报,2013,33(6):76-79,111.
- [19] 李吉跃,翟洪波.木本植物水力结构与抗旱性[J].应用生态学报,2000,11(2):301-305.
- [20] 刘晓燕,李吉跃,翟洪波,等.从树木水力结构特征探讨植物耐旱性[J].北京林业大学学报,2003,25(3):48-54.
- [21] 汪师孟,夏美君.中国栎属木材的构造及物理—力学性质(一)[J].北京林学院学报,1983,5(3):64-72.
- [22] 冯冰.文县杨木材构造特征及木纤维特性的研究[J].甘肃农业大学学报,2007,42(6):131-133.
- [23] 张希金,宋坤,蒲发光,等.安徽大别山木本植物幼树小枝薄壁组织组成特征初探[J].植物生态学报,2019,43(3):238-244.
- [24] Morris H, Gillingham M A F, Plavcová L, et al. Vessel diameter is related to amount and spatial arrangement of axial parenchyma in woody angiosperms[J]. Plant, Cell & Environment, 2018, 41(1): 245-260.
- [25] 唐国建,杨金梅,王曙光,等.云龙箭竹纤维形态、化学成分及用作造纸原料可行性研究[J].西北林学院学报,2015,30(4):240-245.
- [26] 刘玉鑫,颜开义,何伟,等.美洲黑杨无性系木材纤维性状遗传变异[J].南京林业大学学报(自然科学版),2020,44(2):67-74.
- [27] 唐其铮.木射线细胞的机械和化学处理对纸页性质和起毛的影响[J].国际造纸,2001,20(3):31-34.
- [28] 陈翠,刘洪斌.导管黏出的原因及解决方案[J].中国造纸,2013,32(12):66-69.
- [29] White D J B, Wheeler E A, Baas P, et al. IAWA list of microscopic features for hardwood identification by an IAWA committee[J]. Kew Bulletin, 1991, 46(2): 376.
- [30] 李甘霖,张栋基,郭勇为,等.影响纸张掉毛掉粉的因素[J].中国造纸,2006,25(12):44-48.

(责任编辑 冯雪)

