

加拿大颤杨木材物理力学性能研究与评价

潘芳晴, 冯鑫浩, 吴智慧

(南京林业大学家居与工业设计学院, 江苏南京 210037)

摘要: 测试加拿大艾伯塔产颤杨木材的物理力学性能, 并与国产部分杨木性能进行对比分析。结果显示, 颤杨木材的密度较低, 径、弦向干缩湿胀率差异较小; 硬度较低, 属软材, 物理性能与国产杨木非常接近; 其力学性能则优于国内杨木, 可以作为国内杨木的补充, 用于家具与木制品的生产。

关键词: 加拿大颤杨; 国产杨木; 物理力学性能; 对比分析

中图分类号: S781; S792.112; TS67 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654 (2020) 04-0009-04

Evaluation of Physical and Mechanical Properties of Canadian Aspen

PAN Fang-qing, FENG Xin-hao, WU Zhi-hui

(College of Furnishings and Industrial Design, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China)

Abstract: The physical and mechanical properties of Canadian aspen (*Populus tremuloides* Michx.) from Alberta were examined and compared with the properties of China native poplar. The physical properties of Canadian aspen were comparably similar to those of native poplar, while the Canadian aspen was slightly lower in density. The mechanical properties of Canadian aspen were higher than those of native poplar from China except the harness. The differential drying shrinkage and the rate of expansion between radial and tangential direction remained minor. Therefore, it was suggested that the Canadian aspen can be one of substitute species of native poplar used in furniture and handicrafts manufactory in China.

Key words: Canadian aspen; domestic poplar; physical and mechanical properties; comparison and analysis

杨木作为我国三大人工林速生树种之一, 近年来被广泛种植, 已成为国内重要工业用材树种, 目前蓄积面积达 800 多万 hm^2 ^[1]。但由于国产速生杨材质松软、强度低、材性差, 在工业生产中的应用价值较低, 因此寻找合适的家具生产用材显得尤为重要^[2-3]。

加拿大颤杨 (*Populus tremuloides* Michx.), 是加

拿大北部 (尤其是艾伯塔省) 最常见的阔叶林树种, 受地理位置、土壤成分和气候的影响, 颤杨已被作为一种优良的人工林树种进行种植培育, 产量优异, 约占艾伯塔省阔叶林蓄积量 (约 12 亿 m^3) 的 81%^[4]。成年颤杨一般高 20~25 m, 直径为 20~80 cm, 平均产量每年 10~30 m^3/hm^2 , 目前主要用于轻工业和制造业, 如用于制备定向刨花板 (OSB)^[5], 也部分用于生产高质量的层积材, 制作端梁隔栅、托梁、横梁等^[6]。

将颤杨引入国内应用前, 对其材性进行测试和了解十分必要。鉴于此, 笔者对颤杨木材的物理力学性能进行测试分析, 并与国产部分杨木, 如加杨

收稿日期: 2019-09-26; 修改日期: 2020-06-22

基金项目: 加拿大艾伯塔木材在中国推广应用可行性研究“艾伯塔 Aspen 与中国速生杨木的材性对比研究” (C2018000291)。

作者简介: 潘芳晴 (1995—), 女, 本科生。Email: 1445062574@qq.com

责任作者: 冯鑫浩, 男, 助理研究员。Email: fengxinhao@126.com

(*Populus canadensis* Moench)、毛白杨(*P. tomentosa* Carrière)、大叶杨(*P. lasiocarpa* Oliv.)、辽杨(*P. maximowiczii* Henry)、滇杨(*P. yunnanensis* Dode)、胡杨(*P. euphratica* Oliv.)、大青杨(*P. ussuriensis* Kom.)等进行比较,分析颤杨在国内市场上应用的适用性,为颤杨的引进应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

颤杨:产自加拿大艾伯塔省。树龄35年,直径30~35 cm。选取10株,每株截取1.5 m木段(自下而上)3根,每个木段从髓心至树皮截取径切板作为试样,测试时随机选取径切板试样,各个试样的尺寸和数量见表1。

表1 测试试样的尺寸和数量和参照标准

Tab.1 Specimen sizes and quantities and reference standards

测试指标	试样尺寸(R×T×L)/mm	数量/个	参照标准
气干密度	20×20×20	40	GB/T 1933—2009
全干密度	20×20×20	40	GB/T 1933—2010
基本密度	20×20×20	40	GB/T 1933—2011
湿胀性能	20×20×20	40	GB/T 1934.2—2009
干缩性能	20×20×20	40	GB/T 1932—2009
冲击强度	20×20×300	30	GB/T 1940—2009
抗弯强度	20×20×300	30	GB/T 1936.1—2009
顺纹抗压强度	20×20×30	30	GB/T 1935—2009
硬度(横纹)	50×50×70	30	GB/T 1941—1991
硬度(斜纹)	50×50×70	30	GB/T 1941—1991

1.2 仪器设备

电热恒温鼓风干燥箱,精密天平,电子万能试验机,数显半自动冲击试验机等。

1.3 试验方法

根据GB/T 1929—2009《木材物理力学试验锯解及试样截取方法》进行原木锯解,用于测定颤杨的物理力学性能,参照相应国标要求进行试件尺寸和数量的设计,具体信息列于表1。

按照GB 1928—2009《木材物理力学试验方法通则》,先将试样置于温度(20±2)℃、相对湿度(65±3)%的恒温恒湿箱中,平衡处理至含水率12%,然后再根据表1所示标准,分别测试各项物理力学性能,最后用Excel处理和分析数据。

2 结果与分析

2.1 物理性能

加拿大颤杨木材的物理性能测试结果,列于表2。

表2 加拿大颤杨木材的物理性能

Tab.2 Physical properties of Canadian aspen specimen

性能指标		平均值	标准差	变异系数/%
密度/(g·cm ⁻³)	气干密度	0.41	0.06	13.69
	全干密度	0.39	0.06	13.99
	基本密度	0.34	0.05	13.66
气干干缩率/%	弦向	4.52	1.12	24.44
	径向	2.91	1.01	34.48
	体积	7.33	2.03	27.40
全干干缩率/%	弦向	7.92	1.34	16.46
	径向	5.51	1.42	25.45
	体积	13.24	1.93	14.39
全干至气干状态 湿胀率/%	弦向	2.12	0.42	19.05
	径向	1.44	0.31	21.43
	体积	4.02	0.74	17.50
全干至水饱和和状态 湿胀率/%	弦向	7.91	1.13	13.92
	径向	4.63	0.82	17.39
	体积	14.22	1.72	11.97

1) 密度:表2显示,颤杨平均气干密度为0.41 g/cm³,全干密度为0.39 g/cm³,基本密度为0.34 g/cm³,测试结果与文献报道(0.33~0.43 g/cm³)基本相符^[5]。以气干密度为标准,颤杨的密度品质等级属于小(0.35~0.55 g/cm³)^[7]。

2) 干缩和湿胀性:从表2可以看出,无论是从湿材到全干材,还是从湿材到气干材,木材的弦向干缩率>径向干缩率,并且全干的弦径干缩差异(弦向干缩率/径向干缩率)为1.44,气干的弦径干缩差异为1.55,均<2,因此木材的弦径向干缩比较均匀,尺寸稳定性较好,不易开裂和变形^[8]。

从表2亦可以看出,无论是从全干到气干,还是从全干到水饱和状态,颤杨的弦向湿胀率均>径向湿胀率,其气干和水饱和的弦径湿胀差异均<2,所以颤杨木材的弦径向湿胀比较均匀。

2.2 力学性能

加拿大颤杨木材的力学性能测试结果,列于表3。

1) 冲击强度:表3显示,颤杨木材的冲击强度平均值为94.23 kJ/m²,按照力学等级^[7],其冲击强度为甚高级别(>58.8 kJ/m²)。

表3 加拿大颤杨木材的力学性能
Tab.3 Mechanical properties of Canadian aspen specimen

性能指标	平均值	标准偏差	变异系数/%
冲击强度/(kJ·m ⁻²)	94.23	16.43	17.02
抗弯强度/MPa	71.72	11.14	15.48
顺纹抗压强度/MPa	48.03	9.91	20.63
端面	2 804.51	213.39	7.61
硬度(横纹)/N	径向 1 696.99	168.85	9.95
弦向 1 583.57	120.86	7.63	
端面	2 931.86	249.72	8.52
硬度(斜纹)/N	径向 2 134.53	404.98	18.97
弦向 1 918.40	380.09	19.81	

2) 抗弯强度: 颤杨木材的抗弯强度平均值为 71.72 MPa, 在测试过程中发现试样基本都在 2 min 左右到达试验设定的破坏点, 表明颤杨木材韧性优良。参照物理力学性质分级表^[7], 颤杨的抗弯强度为低等级别 (49.1~78.4 MPa)。

3) 顺纹抗压强度: 颤杨木材的顺纹抗压强度测试数据分布比较集中, 其平均值为 48.03 MPa, 已达到我国标准中等级别 (34.4~54.9 MPa)^[7], 略高于我国阔叶树木材顺纹抗压强度平均值 (45.0 MPa)^[9-10]。

4) 硬度: 对试样六个面 (图 1) 进行测试, 结果显示, 颤杨木材横纹端面硬度 (2804.51 N) > 径面 (1696.99 N) > 弦面 (1583.57 N), 与文献报道相吻合^[11]。根据木材物理力学指标分级标准, 颤杨木材的端面硬度属于 II 级。

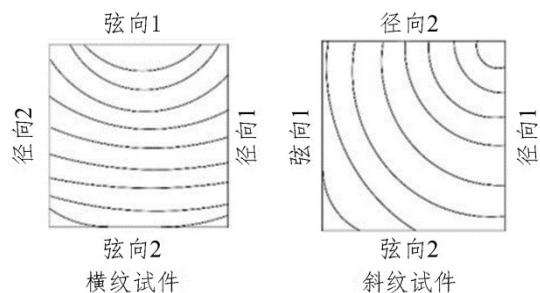


图1 硬度试件的纹理方向

Fig.1 Texture direction of the specimen in hardness tests

2.3 颤杨与国产杨木性能的比较分析

将颤杨木材和国内杨木物理力学性能数据进行比较分析, 如图 2 所示。其中国产杨木的物理力学性能, 主要参考《中国木材志》和《中国东北地区木材性质与用途手册》两本书中的相关数据^[12-13]。

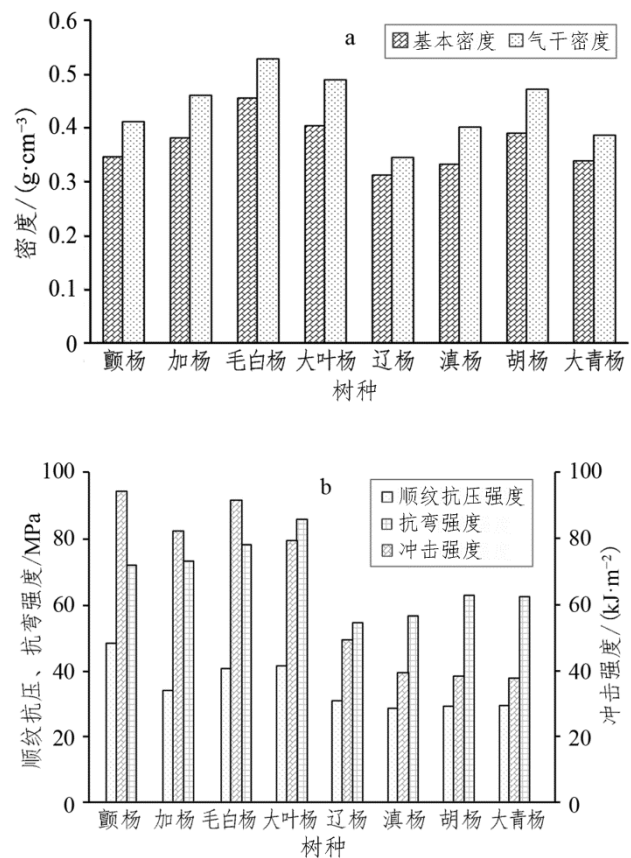


图2 加拿大颤杨与国产部分杨木物理力学性能比较

Fig.2 Comparison of physical and mechanical properties of Canadian aspen and native poplar

从图 2a 可以看出, 颤杨的基本密度为 0.34 g/cm³, 气干密度为 0.41 g/cm³, 二者均低于国内七种杨木的平均值。颤杨的密度略高于国内的辽杨、滇杨和大青杨, 但跟加杨、毛白杨、大叶杨和胡杨还有一定差距。根据我国主要用材的弦径向干缩差异分类^[14], 颤杨全干的弦径向干缩差异为 1.44, 属小类级别, 弦径向干缩率差异较小, 所以颤杨尺寸稳定性较好。总的来说, 颤杨较国内杨木松软、密度低, 有利于生产加工。

图 2b 显示, 颤杨的力学性能优于国内七种杨木, 尤其是冲击强度和顺纹抗压强度, 都高于国产杨木。其中顺纹抗压强度 (48.03 MPa) 较国产杨木的均值 (33.1 MPa) 高 45%; 冲击强度 (94.23 kJ/m²) 普遍高于国内其他杨木的冲击强度^[15], 比国产杨木的均值 (59.4 MPa) 高 58%; 颤杨抗弯强度为 71.72 MPa, 虽然低于加杨 (72.9 MPa)、毛白杨 (77.9 MPa) 和大叶杨 (85.5 MPa), 但比国产杨木的均值 (67.4 MPa) 高 6%, 与国内常用杨木和桃花心木接近^[16]。

3 结论

1) 加拿大颤杨质轻, 属低密度木材。除抗弯强度属低等级别外, 其余力学性能如顺纹抗压强度和冲击强度都在中等级别以上。

2) 与国产七种杨木物理力学性能相比, 加拿大颤杨木材密度稍低, 但力学性能指标更高, 尤其是冲击强度明显高于国产杨木。

3) 综合加拿大颤杨木材的物理力学性能来看, 可以将颤杨作为国内杨木的补充, 用于生产家具、木门、木地板、多层板、装饰板、工艺品等, 但对于一些承重件或强度、硬度要求较高的特殊场合使用时, 需进行结构增强或改性处理。

参考文献:

- [1] 国家林业和草原局. 中国森林资源报告(2014—2018) [M]. 北京: 中国林业出版社, 2019.
- [2] 吴艳华, 贾茹, 任海青, 等. 进口桃花心木木材物理与力学性能评价[J]. 木材工业, 2019, 33(2): 44-47.
WU Y H, JIA R, REN H Q, et al. Physical and mechanical properties of imported *Swietenia macrophylla* wood[J]. China Wood Industry, 2019, 33(2): 44-47.
- [3] 吴艳华, 孙海燕, 任海青, 等. 进口辐射松木材物理与力学性能评价[J]. 木材工业, 2019, 33(2): 48-50.
WU Y H, SUN H Y, REN H Q, et al. Physical and mechanical properties of imported *Pinus radiata* wood[J]. China Wood Industry, 2019, 33(2): 48-50.
- [4] 尹伟伦. 国际杨树研究新进展[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2001: 139-156.
- [5] Knudson R, Brunette G. Evaluation of Canadian prairie-grown hybrid poplar for high value solid wood products[J]. The Forestry Chronicle, 2015, 91(2): 141-149.
- [6] 方升佐, 徐锡增, 吕士行. 杨树定向培育[M]. 合肥: 安徽科协技术

出版社, 2004: 4-12.

- [7] 尹思慈. 木材学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1996: 217-228.
- [8] 项东云, 陈健波, 申文辉, 等. 大花序桉种源间木材物理性质变异研究[J]. 广西林业科学, 2008, 37(2): 57-65.
XIANG D Y, CHEN J B, SHEN W H, et al. Research on wood physical property variation among provenances of *E. cloeziana*[J]. Guangxi Forestry Science, 2008, 37(2): 57-65.
- [9] 罗浩, 齐锦秋, 谢九龙, 等. 四川蓝桉幼龄材物理力学性质研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2016, 44(2): 90-96.
LUO H, QI J Q, XIE J L, et al. Physical-mechanical properties of *Eucalyptus globulus* juvenile wood from Sichuan[J]. 2016, 44(2): 90-96.
- [10] 孙新民. 木材工业实用大全 木材卷[M]. 北京: 中国林业出版社, 2002: 157-261.
- [11] Duygu K, Sandor P, Yaman B. Effect of thermal treatment on the chemical composition and mechanical properties of birch and aspen[J]. Bioresources, 2008, 3(2): 517-537.
- [12] 成俊卿, 杨家驹, 刘鹏. 中国木材志[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992: 574-583.
- [13] 刘一星, 于海鹏, 刘迎涛, 等. 中国东北地区木材性质与用途手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 61-69.
- [14] 王桂岩, 王彦, 李善文, 等. 13种杨树木材物理力学性质的研究[J]. 山东林业科技, 2001(2): 1-11.
WANG G Y, WANG Y, LI S W, et al. A study on wood physical and mechanical properties of thirteen poplar varieties[J]. Journal of Shandong Forestry Science and Technology, 2001(2): 1-11.
- [15] 姚胜, 蒲俊文. 三种速生杨木材物理力学性质的比较研究[J]. 福建林业科技, 2008(3): 148-152.
YAO S, PU J W. A comparative study on the physical and mechanical properties among three species of fast-growing poplar[J]. Journal of Fujian Forestry Science and Technology, 2008(3): 148-152.
- [16] 王桂岩, 李琪, 王彦. 几种杨树木材主要物理力学性质测试报告[J]. 山东林业科技, 1990(S1): 98-101.
WANG G Y, LI Q, WANG Y. Test report on the main physical and mechanical properties of poplar wood[J]. Journal of Shandong Forestry Science and Technology, 1990(S1): 98-101.

(本文编校 孟凡丹、向 琴)

(上接第4页)

- mixture modified silica fume geopolymer-based coating for flame retardant plywood[J]. Constr Build Mater, 2018(189): 1-7.
- [6] Maciulaitis R, Grigonis M, Malaikiene J. The impact of the aging of intumescent fire protective coatings on fire resistance[J]. Fire Safety J, 2018(98): 15-23.
 - [7] MA X X, WU Y Z, ZHU H L. The fire-retardant properties of the melamine-modified urea-formaldehyde resins mixed with ammonium polyphosphate[J]. J Wood Sci, 2013, 59(5): 419-425.
 - [8] WU M T, SONG W, WU Y Z, et al. Preparation and characterization of the flame retardant decorated plywood based on the intumescent flame retardant adhesive[J]. Materials, 2020, DOI: 10.3390/ma13030676..
 - [9] Proulx G, Reid I M A. Occupant behavior and evacuation during the Chicago Cook County Administration Building fire[J]. J Fire Prot Eng, 2006, 16(4): 283-309.
 - [10] 王喜世, 廖光焯, 范维澄. 木材表面火蔓延特性的动态测量研究[J].

火灾科学, 2000, 91(1): 8-12.

- WANG X S, Liao G X, Fan W C. Research on dynamic measurement of fire spreading characteristics on wood surface[J]. Fire Science, 2000, 91(1): 8-12.
- [11] 舒中俊, 徐晓楠, 李响. 聚合物材料火灾燃烧性能评价——锥形量热仪试验方法[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
 - [12] LI X, ZHAO Z, WANG Y, et al. Highly efficient flame retardant, flexible, and strong adhesive intumescent coating on polypropylene using hyperbranched polyamide[J]. Chemical Engineering Journal, 2017(324): 237-250.
 - [13] Puri R G, Khanna A S. Effect of cenospheres on the char formation and fire protective performance of water-based intumescent coatings on structural steel[J]. Progress in Organic Coatings, 2016(92): 8-15.

(本文编校 孟凡丹、向 琴)