

预处理方式对速生杨木试件密实及密闭性的影响

王 娱,王天龙*,沈 杨,赵鸿婧

(北京林业大学 木质材料科学与应用教育部重点实验室,木材科学与工程北京市重点实验室,北京 100083)

摘 要:为将木材制备成具有密闭性的包装材料,以速生杨木试件为材料,探讨浸泡、喷水 2 种处理方式对速生杨木试件水分分布、密实化后断面密度与密闭性的影响。结果表明,经过浸泡、喷水处理,试件表层含水率由 5.21% 分别提高到 28.38%、24.08%,喷水和浸泡处理几乎可达相同的效果;无论喷水还是浸泡处理,试件的最大含水率与密实化后试件的最大密度均出现在试件表层,经浸泡、喷水处理的密实化试件表层密度分别达 1.17、1.06 g/cm³;随着最大断面密度的增加,密实化试件的平均透气速率从 106.08×10⁻⁷ L·mm⁻²·min⁻¹ 降到 2.76×10⁻⁷ L·mm⁻²·min⁻¹,降低了 97.97%,泄漏率从 28.78×10⁻² h⁻¹ 降到 0.58×10⁻² h⁻¹,降低 49.62 倍,密封等级提高到 3 级。

关键词:预处理;速生杨木;含水率;密度;密闭性

中图分类号:S784 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2020)02-0213-05

Effects of Pretreatment Methods on the Compaction and Airtightness of Fast-growing Poplar

WANG Yu, WANG Tian-long*, SHEN Yang, ZHAO Hong-jing

(Key Laboratory of Wood Material Science and Utilization of Ministry of Education, Beijing City Key Laboratory of Wood Science and Engineering, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to prepare the wood into a sealed storage material, the fast-growing poplar was used as the material to investigate the effects of soaking and spraying on the moisture distribution of the fast-growing poplar, the density and the tightness of the compacted poplar. The results showed that after immersion and water spray treatment, the moisture content of the surface of the test piece increased from 5.21% to 28.38% and 24.08%, respectively. The water spray and immersion treatments could almost achieve the same effect. Regardless of water spray or immersion treatments, the maximum of the water content and the maximum density of the specimen after compaction appeared on the surface of the test piece. The density of the surface of the densified test piece after soaking and water spray treatments could reach 1.17 g/cm³ and 1.06 g/cm³, respectively. With the increase of maximum section density, the average gas permeability of the densified test piece decreased from 106.08×10⁻⁷ to 2.76×10⁻⁷ L·mm⁻²·min⁻¹, reduced by 97.97%, and the hourly leak rate decreased from 28.78×10⁻² h⁻¹ to 0.58×10⁻² h⁻¹, reduced by 49.62 times, and the sealing level increased to level 3.

Key words: pretreatment; fast-growing poplar wood; water content; density; airtightness

具有良好密闭性的绿色包装材料是大多数物品储存所需要的^[1-3],但一直未得到较好的解决。木材作为天然可再生的生态环境材料,具有强重比高、抗震性强、易加工、可重复使用、环境兼容性好等优势。经过压缩处理的木材,有效孔隙变小,气体的流通路

径受到阻碍。如果能利用这一特点将木材制备成具有密闭性的包装材料,不仅有利于物品的长期存放,还能够打破材料选取的局限性,扩大木材的应用领域。目前,绝大多数木材压缩相关的研究工作主要针对木材的力学性能展开的^[4-10],对密闭性的研究

收稿日期:2019-06-12 修回日期:2019-09-04

作者简介:王 娱,女,硕士在读,研究方向:木材改性。E-mail:wy978843565@163.com

*通信作者:王天龙,男,硕士生导师,副教授,研究方向:木材改性。E-mail:luckywtl@126.com

几乎处于空白。木材中水分含量及分布等初始状态与木材的各项性能密切相关^[11-14],因此,本研究拟采取浸泡和喷水 2 种方式处理速生杨木,对速生杨木含水率、密实化后断面密度及密闭性进行探究,以期获得较高密闭性的速生杨木包装材料,为进一步利用速生杨木作为高实用价值的包装材料提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

材料为速生杨木(*Populus*)气干材,产自河北省,胸径 40~60 cm,含水率为 4.8%~6%,平均气干密度 0.37~0.42 g/cm³,所选材料无虫蛀、腐朽、结疤等缺陷,将其加工成规格为 100 mm×100 mm×8 mm 的四面光试件。

1.2 仪器与设备

热压机,上海人造板机器厂生产,型号 DQ;电子天平,上海精天电子仪器有限公司生产,精度 0.01 g;电子数显卡尺,精度 0.01 mm;断面密度测定仪,德国 GreCon 公司生产,型号 DA-X;电热恒温鼓风干燥箱,上海一恒科学仪器有限公司生产,型号 DHG-9420(A)。

1.3 方法

用环氧树脂将试件四周封端,待树脂完全固化,采用常温浸泡和喷水 2 种不同的方式处理试件,浸泡处理的时间为 10、20、30、40 min,喷水后试件的增水量为 1、2、3 g,并设置未经预处理的空白对照组。试件切除端面并沿 1/2 厚度方向均分为 4 层,由表到里分别为第 1、第 2、第 3、第 4 层,每层约 1 mm 厚,测定各层含水率,并进行热压密实化处理,热压参数设置为 180℃、0.5 MPa、10 min,放入热压机后 10 s 加载至设定压力。在 25℃的室内放置 30 d,进行断面密度、平均透气速率以及密闭性检测。

1.4 透气速率及密闭性检测

借鉴 EJ/T 1096-1999《密封箱室密闭性分级及

其检验方法》,利用平均透气速率估算试件的小时泄漏率:

$$T_f=\frac{F}{V}$$
(1)

式中, T_f 为小时泄漏率, h⁻¹; F 为 1 h 的气体泄漏量, L·h⁻¹; V 为密封箱室的体积, L。

在不考虑材料使用时因结构设计产生的漏气情况下,材料的密闭性与其透气速率紧密相关,透气速率越大密闭性越差。因此,本试验通过记录试件在 250 mL 密闭空间由真空度-0.02 MPa 恢复到常压的时间,计算试件的平均透气速率。

将密闭材料平均每小时的透气速率 v 视为正常工作条件下 1 h 的泄漏率,密闭材料的面积为 S ,密闭箱室的体积为 V ,试件的小时泄漏率:

$$T_f=v\frac{S}{V}$$
(2)

式中, v 为透气速率, L·h⁻¹·mm⁻²; S 为密闭材料的面积, mm²。

2 结果与分析

2.1 试件含水率分布情况

由表 1 和图 1 知,随着浸泡时间的增加,试件的平均含水率增加。浸泡时间从 10~40 min,试件平均含水率从 10.82% 提高到 16.79%。由图 1c 知,经过浸泡处理试件的最大含水率出现在第 1 层(表层),表层含水率最高达 28.38%。浸泡过程中水分沿试件厚度方向向芯部迁移,迁移深度距试件表面约 2 mm,随着浸泡时间的延长,表层与其相邻层的含水率梯度减小。随着喷水量从 1 g 增加至 3 g,试件平均含水率从 7.91% 提高到 13.59%。试件经喷水处理后水分主要集中在表层,喷水量从 1 g 增加到 3 g,试件表层含水率从 15.34% 增加到 24.08%,其余各层含水率几乎不变,表层与其相邻层的含水率梯度增大。

表 1 预处理方式对试件含水率的影响

Table 1 Effect of pretreatment method on moisture content of test piece %

厚度层	对照组	浸泡处理				喷水处理		
		10 min	20 min	30 min	40 min	1 g	2 g	3 g
平均值	5.21	10.82	12.04	14.72	16.79	7.91	11.51	13.59
第 1 层		18.91	27.43	24.04	28.38	15.34	21.77	24.08
第 2 层		7.6	10.05	12.54	14.49	5.20	6.15	5.37
第 3 层		5.45	5.71	5.31	5.57	5.25	5.26	4.92
第 4 层		5.24	5.16	5.29	5.18	4.94	5.29	5.10

在本试验条件下,试件的最大含水率均出现在表层,均未高于纤维饱和点;喷水处理相比浸泡处理能够更好的将水分集中在木材的表层,能够减少水分向木材芯层迁移的距离,有利于热压过程中水分

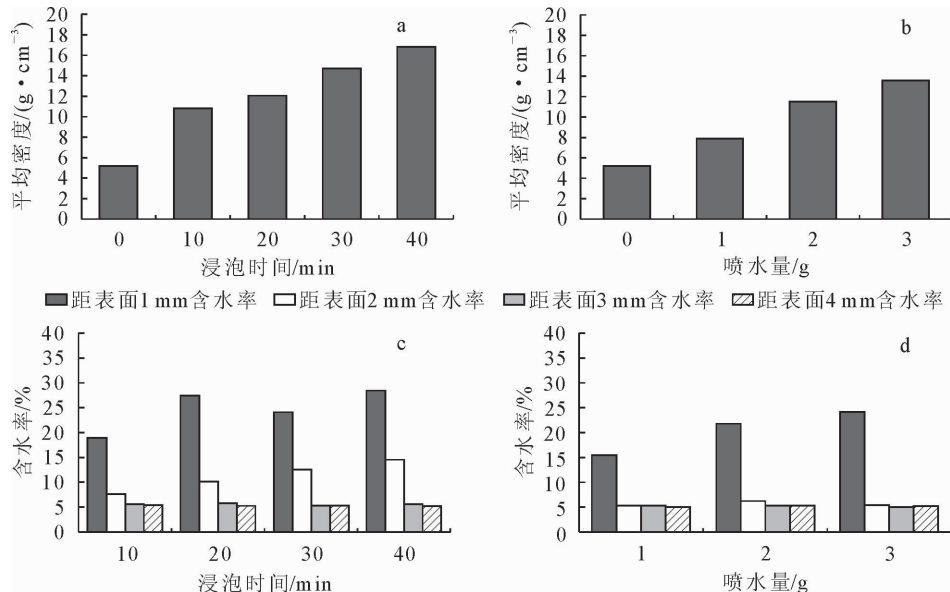
的及时排出,减少干燥能耗。

2.2 试件密度分布情况

由表 2 和图 2 知,经过浸泡处理的密实化试件平均密度范围 0.92~1.02 g/cm³,比速生杨木未压

材(素材)提高 2.19~2.44 倍。浸泡时间从 10 min 到 20 min,密实化试件的表层密度由 1.06 g/cm³ 提高到 1.17 g/cm³,比素材提高 2.51 倍,比未处理的对照组试件提高 1.38 倍。浸泡时间超过 20 min 的密实化试件表层断面密度降低,经 30、40 min 浸泡处理的密实化试件表层断面密度几乎相同,而经 40

min 浸泡处理的密实化试件其余各层密度较高,几乎与表层相同。经过喷水处理的密实化试件平均密度范围 0.92~0.95 g/cm³,比素材提高 2.21~2.27 倍,随着喷水量的增加,密实化试件的表层密度增加,在本试验条件下可达 1.06 g/cm³,比素材提高 2.27 倍,比未预处理的对照组试件提高 1.25 倍。



注:a. 浸泡处理试件平均含水率;b. 喷水处理试件平均含水率;c. 浸泡处理试件分层含水率;d. 喷水处理试件分层含水率。

图 1 经浸泡/喷水处理后速生杨木试件含水率变化

Fig. 1 Change of moisture content of fast-growing poplar specimens after soaking/spraying treatment

表 2 预处理方式对试件密度的影响

Table 2 Effect of pretreatment method on specimen density

密度指标 /(g·cm ⁻³)	空白对照		浸泡处理				喷水处理		
	未热压	热压	10 min	20 min	30 min	40 min	1 g	2 g	3 g
平均密度	0.42	0.78	0.92	0.94	0.94	1.02	0.92	0.93	0.95
最大断面密度	0.47	0.85	1.06	1.17	1.10	1.10	0.99	1.02	1.06

随着含水率的增加,木材的软化温度降低^[15]。随着浸泡时间增加,试件表层含水率增加,表层软化温度降低,在温度和压力不变的情况下,表层压缩程度提高、密度增加。随着浸泡时间的延长,表层含水率提高,水分沿厚度方向向木材芯部移动,导致芯部含水率提高,当温度由表层传递到木材芯部时,木材芯部软化程度提高,在压力作用下致使芯部压缩增大,表层到芯层的密度梯度减小,如图 3c,浸泡 40 min 密实化的试件的断面各层密度几乎相同。喷水处理的试件,水分集中于木材表层,随着喷水量增加,木材表层含水率提高,而芯层含水率却无明显改变,经密实化后试件仍以表层压缩为主,表层断面密度大幅度提高,其余各层密度之间无明显差异。

在本试验条件下,随着浸泡时间和喷水量的提高,密实化试件的平均密度提高,但断面密度梯度有所差异。浸泡时间超过 20 min 后,浸泡时间越长,

密实化试件的断面密度梯度越小;喷水量越大,密实化试件的断面密度梯度越大。通过上述分析可以发现,浸泡和喷水 2 种处理方式在木材压缩方面均有一定的应用价值。浸泡处理能够降低木材厚度方向的含水率梯度,有利于实现木材均匀压缩,而喷水处理能较好将水分控制在木材的表层,有利于实现木材的表层压缩,且便于实际生产。

2.3 密实化对试件透气速率及密闭性的影响

由表 3 知,随着最大断面密度增加,速生杨木密实化试件的平均透气速率降低,密闭性得以提高。从-0.02 MPa 到恢复到常压过程,最大断面密度从 0.47 g·cm⁻³ 增加到 1.17 g·cm⁻³,提高 2.49 倍,而密实化试件的平均透气速率从 106.08×10⁻⁷ L·mm⁻²·min⁻¹ 降到 2.76×10⁻⁷ L·mm⁻²·min⁻¹,降低了 97.97%。随着试件最大断面密度的提高,试件的平均透气速率显著降低,当最大断面密

度超过 $1.00\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 时,随着最大断面密度的提高,试件的平均透气速率趋于稳定。在本试验条件下随着最大断面密度的提高,试件的泄漏率从 $28.78\times10^{-2}\text{ h}^{-1}$ 降到 $0.58\times10^{-2}\text{ h}^{-1}$,降低 49.62 倍,密封等级从不到 4 级提高到 3 级。

可能存在的原因是在由大小 2 个毛细管组成的系统中,并联时大毛细管决定气体流量,串联时小毛细管控制着气体流量。若只考虑气体在木材厚度方向上的流动,木材则是由无数个沿厚度方向串联的毛细管系统并联而成,气体的流速取决于透气速率

小的毛细管,若其中的某个毛细管的透气速率急剧降低时,所在的单个串联毛细管系统的气体流速降低。当垂直于厚度方向的某层毛细管降低时,无数多个串联的毛细管系统的气体流速都降低,因此由它们组成的并联系统的气体流速随之降低,单位时间内流经木材的气体流量减少。经过密实化的速生杨木试件,表层断面密度大幅度提高,表层单位体积内的实质密度增大,有效孔隙变小、气体流通的阻力增加,单位时间内流经试件的气体流量降低,密闭性提升。

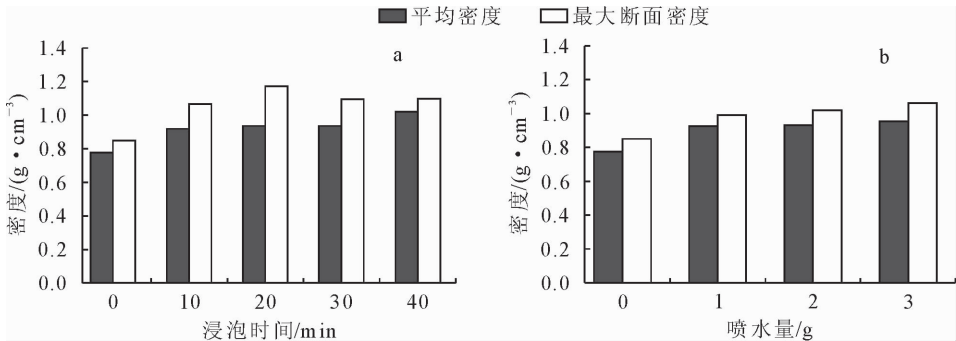


图 2 浸泡/喷水处理后速生杨木的密度变化

Fig. 2 Changes in density of fast-growing poplar after soaking/spraying treatment

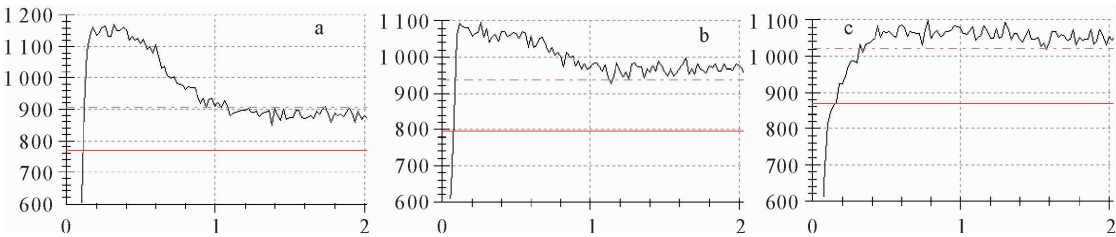


图 3 浸泡处理后速生杨木试件的密度曲线

Fig. 3 Density changes of fast-growing poplar after soaking/spraying treatment

表 3 速生杨木密度对密闭性的影响

Table 3 Effect of fast-growing poplar density on airtightness				
最大断面密度 ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	最大断面密度提高 倍数/倍	平均 透气速率 ($\text{L}\cdot\text{mm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$)	平均 透气速率 降低比/%	泄漏率 T_f / h^{-1}
0.47	1	106.08×10^{-7}	0	28.78×10^{-2}
0.85	1.82	19.71×10^{-7}	81.42	5.35×10^{-2}
0.99	2.13	8.73×10^{-7}	91.77	2.37×10^{-2}
1.02	2.18	6.15×10^{-7}	94.20	1.67×10^{-2}
1.06	2.27	5.79×10^{-7}	94.54	1.57×10^{-2}
1.06	2.28	5.43×10^{-7}	94.88	1.47×10^{-2}
1.10	2.35	2.15×10^{-7}	96.47	1.01×10^{-2}
1.10	2.35	3.74×10^{-7}	97.39	0.75×10^{-2}
1.17	2.52	2.76×10^{-7}	97.97	0.58×10^{-2}

由表 2 和表 3 知,浸泡处理 30 min 到 40 min,速生杨木密实化试件的最大断面密度无明显差异,分别为 1.10 、 $1.10\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,但平均透气速率却存在一定差异,分别为 2.15×10^{-7} 、 $3.74\times10^{-7}\text{ L}\cdot$

$\text{mm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$ 。由图 3 可知,经 40 min 浸泡处理的试件各层压缩更均匀,最大断面密度层较厚,试件的透气速率更小,密闭性更好。

3 结论

浸泡和喷水处理的试件表层含水率最大,浸泡时间从 10 min 增加到 40 min,试件表层含水率从 5.21% 提高到 28.38%;喷水量从 1 g 增加到 3 g,试件含水率从 5.21% 提高到 24.08%,浸泡和喷水处理在一定程度上可达相同效果,喷水处理在生产中具有更高的可行性且能降低干燥能耗。

密实化试件的表层断面密度最大,可达 $1.17\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,经浸泡处理的密实化试件最大断面密度由 $0.47\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 提高到 $1.17\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,提高了 2.51 倍,经喷水处理的密实化试件最大断面密度由 $0.47\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 提高到 $1.06\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,提高了 2.27 倍。

最大断面密度从 $0.47\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 增加到 $1.17\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,密实化试件的平均透气速率从 $106.08\times 10^{-7}\text{ L}\cdot\text{mm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$ 降到 $2.76\times 10^{-7}\text{ L}\cdot\text{mm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$,降低了 97.97%,泄漏率从 $28.78\times 10^{-2}\text{ h}^{-1}$ 降到 $0.58\times 10^{-2}\text{ h}^{-1}$,降低49.62倍,密封等级从不到 4 级提高到 3 级。

参考文献:

[1] 单秋月,赵燕.茶叶包装的材料选择与外观设计[J].福建茶叶,2015,37(6):76-77.

[2] 赵国兴,刘建忠.浅析影响馆藏文物保存的环境因素及预防性保护[J].文物世界,2015(2):70-73.

[3] 白雪峰,付艳秋,张振霞.浅谈中药房含挥发油药材的储存方法[J].中国药物经济学,2012(6):175-176.

[4] 赵欣,赵有科,吕建雄,等.压缩预处理对全尺寸杨木含水率和力学性能的影响[J].木材工业,2017,31(1):19-22.

[5] REINIATI I, OSMAN N B, DONALD A G M, *et al.* Linear viscoelasticity of hot-pressed hybrid poplar relates to densification and to the in situ molecular parameters of cellulose[J]. Annals of Forest Science, 2015, 72(6): 693-703.

[6] INOUE M, NORIMOTO M, OTSUKA Y, *et al.* Surface compression of coniferous wood lumber I. a new technique to compress the surface layer[J]. Mokuzai Gakkaishi, 1990, 36(11): 969-975.

[7] 陈瑞英, 胡国楠. 速生杨木密实化研究[J]. 福建农林大学学报: 自然版, 2005, 34(3): 324-329.

[8] 刘丹丹, 关惠元, 黄琼涛. 热处理对表面密实材变形固定及性能影响[J]. 北京林业大学学报, 2018, 40(7): 121-128.

LIU D D, GUAN H Y, HUANG Q T. Effects of thermal treatment on deformation fixation and properties of surface densified wood[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2018, 40(7): 121-128. (in Chinese)

(上接第 189 页)

[10] 宋海燕. 榆林沙柳沙障的防风固沙效益分析[J]. 陕西林业科技, 2011(3): 23-25.

[11] 李愿会, 赵院. 金塔县土地沙漠化问题及治理对策[J]. 林业资源管理, 2003(3): 37-39.

[12] 金塔县地方志编纂委员会. 金塔县志[M]. 兰州: 甘肃人民出版社, 1992: 39-57.

[13] 丁国栋. 地表粗糙度确定方法的研究[J]. 内蒙古林业, 1994(6): 27.

[14] 马世威, 马玉明, 等. 沙漠学[M]. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 1998: 20-36.

[15] 杨明元. 对地表粗糙度测定的分析与研究[J]. 中国沙漠, 1996, 16(4): 383-387.

YANG M Y. The analysis and study of determ in earth surface rough degree[J]. Journal of Desert Research, 1996, 16(4): 383-387. (in Chinese)

[16] 王彦武, 罗玲, 张峰, 等. 民勤县绿洲边缘固沙林防风蚀效应研究[J]. 西北林学院学报, 2018, 33(4): 64-70.

WANG Y W, LUO L, ZHANG F, *et al.* Windbreak effect of sand-fixation forest on the edge of oasis in Minqin[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2018, 33(4): 64-70. (in Chinese)

[9] 毛佳, 曹金珍. 户外用压缩防腐木——ACQ-D 木材的处理技术初探[J]. 北京林业大学学报, 2009, 31(3): 100-105.

MAO J, CAO J Z. Treating technology of compressed preservative-treated wood—ACQ-D treated wood for outdoor uses[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2009, 31(3): 100-105. (in Chinese)

[10] XIAO L P, LIN Z, PENG W X, *et al.* Unraveling the structural characteristics of lignin in hydrothermal pretreated fibers and manufactured binderless boards from *Eucalyptus grandis* [J]. Sustainable Chemical Processes, 2014, 2(1): 9.

[11] 张倩, 周亚菲, 刘珊杉, 等. 速生杨清林材基本密度与含水率特性分析[J]. 林业科技, 2017, 42(3): 25-27.

[12] 沈玉林, 王喜明, 宁国艳. 不同状态下的胡杨木材水分特性对比研究[J]. 西北林学院学报, 2018, 33(1): 241-246.

SHEN Y L, WANG X M, NING G Y. A comparative study on the moisture characteristics of *Populus euphratica* under different conditions[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2018, 33(1): 241-246. (in Chinese)

[13] 王洁瑛, 赵广杰, 杨琴玲, 等. 饱水和气干状态杉木的压缩成型及其热处理永久固定[J]. 北京林业大学学报, 2000, 22(1): 72-75.

WANG J Y, ZHAO G J, YANG Q L, *et al.* Compression and permanent fixation with heat treatment of China fir under water-saturated condition and air-dried condition [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2000, 22(1): 72-75. (in Chinese)

[14] 刁海林, 罗建举, 蔡道雄. 水浸时效对红锥木材蠕变特性的影响[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(2): 217-220.

DIAO H L, LUO J J, CAI D X. The influence of water immersion aging on creep characteristics of *Castanopsis hystrix* wood[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2015, 30(2): 217-220. (in Chinese)

[15] 王艳伟, 黄荣凤. 木材密实化的研究进展[J]. 林业机械与木工设备, 2011, 39(8): 13-16.

[17] 许林书, 许嘉巍. 沙障成林的固沙工程及生态效益研究[J]. 中国沙漠, 1996, 16(4): 392-396.

XU L S, XU J W. Sand-fixation project with forest sand-barrier and its ecological benefit[J]. Journal of Desert Research, 1996, 16(4): 392-396. (in Chinese)

[18] 符亚儒, 高保山, 封斌, 等. 陕北榆林风沙区防风固沙林体系结构配置与效益研究[J]. 西北林学院学报, 2005, 20(2): 18-23.

FU Y R, GAO B S, FEN B, *et al.* Structure configuration and protecting benefit of Yulin sandbreak forest system in Northern Shaanxi[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2005, 20(2): 18-23. (in Chinese)

[19] 唐朝胜, 刘世洪, 程杰仁, 等. 基于数值模拟的橡胶防护林防风效应探讨[J]. 西北林学院学报, 2017, 32(2): 79-83.

TANG C S, LIU S H, CHENG J R, *et al.* Study on windbreak effect of rubber and protection forest based on numerical simulation[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2017, 32(2): 79-83. (in Chinese)

[20] 朱朝云, 丁国栋, 杨明远. 风沙物理学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992.