

不同种源水曲柳木材主要化学成分含量变异分析

徐 速,曾凡锁,赵兴堂,詹亚光*

(东北林业大学 生命科学学院,黑龙江 哈尔滨 150040)

摘 要:利用 ANKOM 公司的 A2000i 型全自动纤维分析仪即滤袋法进行测定,研究了 20 个水曲柳种源的 14 年生多点试验林的木材纤维素、半纤维素和木质素含量的变异情况。结果表明,同一试验点 20 个水曲柳种源纤维素、半纤维素和木质素差异显著。其中,海林、西丰和带岭 3 个种源水曲柳的半纤维素、纤维素和木质素与其他种源间差异显著,取材于帽儿山和带岭两试验点的相同种源水曲柳的 3 性状差异亦显著。水曲柳的半纤维素含量、纤维素含量和木质素含量与种源地、试验点显著相关。水曲柳的半纤维素含量、纤维素含量和木质素含量在种源间、地点间、种源和地点交互作用差异均显著。

关键词:水曲柳;种源选择;种源与环境互作;木材化学成分

中图分类号:S792.41 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2016)02-0234-05

Analysis on the Variation of Main Chemical Components of Different Source of *Fraxinus mandschurica*

XU Su,ZENG Fan-suo,ZHAO Xing-tang,ZHAN Ya-guang*

(College of Life Sciehce,Northeast Forestry University,Harbin ,Heilongjiang 150040,China)

Abstract: The variations of the contents of wood cellulose,hemicellulose and lignin in the samples of 14-year-old *Manchurian ash* from 20 provenances that were cultivated in different sites were investigated. Automatic fiber analyzer,type A2000i,made by Ankom Company was used to conduct the measurement. The results showed that within the same cultivation site,significant differences in the contents of cellulose,hemicellulose and lignin among 20 provenances were observed. Among them,the contents of cellulose,hemicellulose and lignin in provenances of Hailin,Xifeng and Dailing were significantly different from other provenances. Within the same provenance,samples collected from different cultivated sites also exhibited significant differences in the contents of 3 components. The contents of cellulose,hemicellulose,lignin were significantly correlated with provenances and cultivation sites. Significant differences were also observed in the interactions between provenaces,cultivation sites,as well as between provenance and site.

Key words: *Fraxinus mandschurica*; seed source selection; provenance environment interaction; chemical constituent of wood

水曲柳(*Fraxinus mandschurica*)系木犀科白蜡树属乔木,是东北林区珍贵的三大硬阔叶树种之一,也是红松混交林主要树种,该树种在我国分布地域广泛,分布区内气候、土壤、地形等生境因子差异显著,造成地理、生殖的隔绝,在长期的自然选择下,

产生具有不同遗传结构的小种(即种源)^[1]。

水曲柳材质略硬,木纹清晰美丽,耐腐、耐水性能好,易加工,韧性大,着色性能好,具有良好的装饰性能,是制作家具的优质原材料之一,具有重要的经济价值。木材主要由纤维素、半纤维素和木质素所

收稿日期:2015-05-09 修回日期:2015-06-17

基金项目:国家林业科技支撑项目(2011BAD37B02-1-3);国家基础科学人才培养基金(J1210053)。

作者简介:徐 速,女,在读硕士,研究方向:植物基因工程。E-mail:897373397@qq.com

* 通信作者:詹亚光,女,教授,研究方向:林木遗传育种和生物技术。E-mail:youpractise@126.com

组成,纤维素使其具有较高的抗拉强度,木质素具有较高的抗压强度。木材中的三大素不仅使其具有弹性,而且具有较高的韧性^[2]。研究表明,种源、立地条件、生长地纬度等对木材性质均有不同程度的影响^[3-7],木材的性质和木材的组成成分的比例对于木材的加工利用有重要影响。水曲柳在东北地区分布较广,生长期适宜,易取材,材质性状稳定,易测得可信度较高的数据^[8]。目前还未见水曲柳木材组分的相关研究,本研究分析了不同种源水曲柳的纤维素、半纤维素和木质素含量的变异情况,为水曲柳的种源选择利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

水曲柳种源试验林包括东北地区的 20 个水曲柳种源(表 1),1999 年栽植于东北林业大学帽儿山实验林场与黑龙江省带岭林业实验局东方红林场。东北林业大学帽儿山实验林场位于张广才岭西坡,地理坐标为 127°18′0″—127°41′6″E、45°2′20″—45°18′16″N。境内以山区丘陵地貌和暗棕壤为主,海拔高度多在 200~600 m 之间,平均海拔 400 m 左右。属中温带大陆性季风气候,年平均降水量 700 mm,无霜期 125 d。黑龙江省带岭林业实验局东方红林场位于黑龙江省东北部,伊春市南部,小兴安岭南麓,地处理坐标为 46°50′8″—47°21′32″N、128°37′46″—129°17′50″E。境内以暗棕壤森林土为主,平均海拔高度为 600 m。属大陆性湿润季风气候,年均温为 1.4℃左右;无霜期 115 d,全年平均降雨 661 mm,全年日照时间为 2 156 h。

1.2 试验方法

本试验材料为取自带岭、帽儿山试验点的 20 个不同种源水曲柳样本,每个种源 3 个区组,每个区组取 3 株平均木,采用每株伐倒木的边材取材,将材料磨成粉状过 9~40 目筛,将每个区组的 3 株样品混合取样。利用全自动纤维分析仪按说明要求对水曲柳的纤维素、半纤维素、木质素的含量进行测定。采用酸性洗涤纤维(ADF)法、中性洗涤纤维(NDF)法和酸性洗涤木质素(ADL)法测定后,将残余样品放入箱式电阻炉中灰化得到灰分,计算得出各组分含量。

1.3 数据处理

利用试验得到的数据根据给定的公式计算出结果,进行分析比较,得到种源地及生长地对水曲柳纤维素、半纤维素、木质素的含量的变异。方差分析:根据 SAS 统计软件提供的一般线性 GLM 方差分析模型^[9]。

表 1 各种源名称及地理位置
Table 1 Provenance name and location

省份	种源	经度/(°)	纬度/(°)	海拔/m
黑龙江	汤旺河	129.3	48.45	165
	沾河	127.63	48.7	415
	友好	128	47.8	240
	桦南	131.53	46.29	192
	带岭	129	47.02	226
	东方红	133.08	46.3	109
	五常	127.15	44.9	195
	绥棱	127.01	47.23	202
	海林	129.22	44.69	275
	帽儿山	127.57	45.27	300
	方正	129.25	45.97	115
	兴隆	128.53	46.25	165
	吉林	126.07	42.68	307
辽宁	辉南	126.82	42.35	549
	汪清	129.77	43.33	242
	临江	126.92	41.72	333
	露水河	127.25	42.27	430
	恒仁	125.35	40.16	240
	弯甸子	124.95	42.1	234
	西丰	124.75	42.73	196

注:每个水曲柳种源采用的样本数量为 9。

2 结果与分析

2.1 不同试验点水曲柳木材化学组分的分布型检验

在帽儿山试验点与带岭试验点,半纤维素的含量约为 20%~23%,纤维素的含量约为 45%~55%,木质素的含量约为 14%~20%。不同种源水曲柳的半纤维素、纤维素、木质素含量存在一定差异。在 2 试验点中,各组分在水曲柳中的含量表现为纤维素>半纤维素>木质素。带岭试验点的半纤维素、纤维素、木质素的平均标准差分别为 1.940 5、6.515 8、5.630 6,变异系数分别为 0.888 7、0.129 2、0.312 5。帽儿山试验点的半纤维素、纤维素、木质素的平均标准差分别为 1.807 8、6.719 0、5.159 7,变异系数分别为 0.081 7、0.138 7、0.257 7。相对于木质素,半纤维素与纤维素的平均标准差和变异系数较小,这说明半纤维素与纤维素种源间的离散程度与木质素相比更显著。3 性状样本经检验均符合或基本符合正态分布型,满足了进一步统计分析的前提(图 1、图 2)。

2.2 不同种源水曲柳木材化学组分变异分析

带岭试验点水曲柳各种源的半纤维素含量差异极显著,半纤维素含量最高为 26.67%,最低为 17.77%。种源间的差异极显著(*Sig.* = 0.000),具有较强的选育潜力。帽儿山试验点水曲柳各种源的半纤维素含量差异极显著,临江、西丰 2 个种源分别

为 19.04%、23.84%，与其他种源差异较显著，半纤维素含量最高为 25.04%，最低为 19.04%。种源间的差异极显著 ($Sig. = 0.001$), 具有较强的选育潜力。半纤维素种源与地点间的交互作用极显著 ($Sig. = 0.000$), 表明不同立地差异、生态条件和栽培水平对水曲柳半纤维素含量影响明显。带岭试验点水曲柳各种源半纤维素含量从小到大依次为绥棱

<友好<恒仁<五常<汤旺河<方正<海林<辉南<带岭<沾河<露水河<东方红<临江<帽儿山<兴隆<三岔子<汪清<弯甸子<西丰。帽儿山试验点水曲柳各种源半纤维素含量从小到大依次为临江<弯甸子<帽儿山<汤旺河<五常<沾河<三岔子<绥棱<露水河<友好<兴隆<汪清<辉南<东方红<华南<方正<带岭<恒仁<海林<西丰。

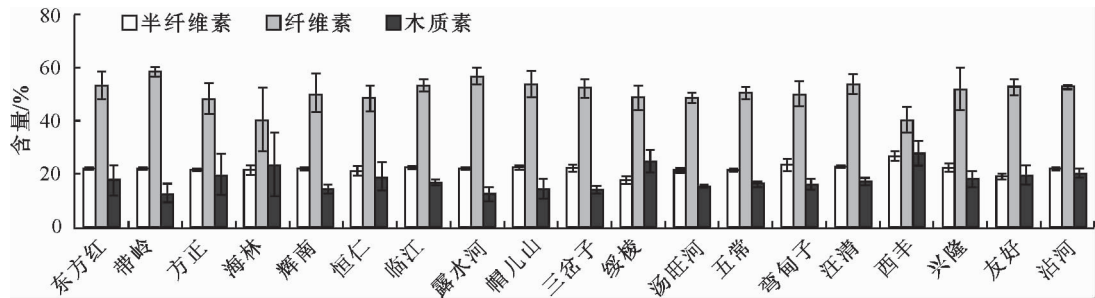


图 1 带岭试验点纤维素、半纤维素、木质素含量分析
Fig. 1 Contents of cellulose, hemicellulose, and lignin in the sample from Dailing

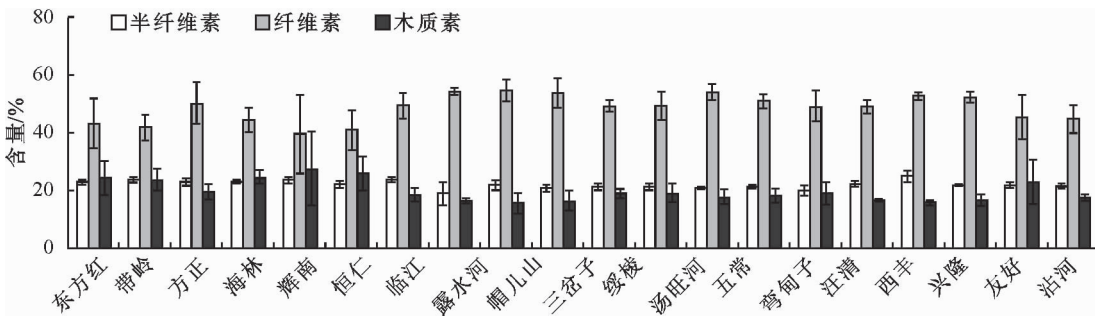


图 2 帽儿山试验点纤维素、半纤维素、木质素含量分析
Fig. 2 Contents of cellulose, hemicellulose, and lignin in the sample from Maoershan

带岭试验点水曲柳各种源的纤维素含量差异显著,海林、西丰 2 个种源分别为 40.41%、40.38%,与其他种源差异较显著。纤维素含量最高为 58.36%,最低为 39.67%。种源间的差异显著 ($sig. = 0.036$), 具有较强的选育潜力。帽儿山试验点水曲柳各种源的纤维素含量差异达到显著,带岭、西丰 2 个种源分别为 41.88%、52.79%,与其他种源差异较显著,纤维素含量最高为 54.81%,最低为 41.88%。种源间的差异显著 ($Sig. = 0.022$), 具有较强的选育潜力。纤维素种源与地点间的交互作用不显著 ($Sig. = 0.063$), 表明不同立地差异、生态条件和栽培水平对水曲柳纤维素含量影响不明显。带岭试验点水曲柳各种源纤维素含量从小到大依次为西丰<海林<方正<恒仁<汤旺河<绥棱<弯甸子<辉南<五常<兴隆<三岔子<友好<沾河<临江<东方红<汪清<帽儿山<露水河<带岭。帽儿山试验点水曲柳各种源纤维素含量从小到大依次为海林<辉南<带岭<东方红<华南<沾河<友好<

弯甸子<三岔子<绥棱<恒仁<方正<五常<汪清<兴隆<西丰<帽儿山<汤旺河<临江<露水河。

带岭试验点水曲柳各种源的木质素含量差异显著,海林为 23.45%,与其他种源差异较显著。木质素含量最高为 27.44%,最低为 12.63%。种源间的差异显著 ($Sig. = 0.028$), 具有较强的选育潜力。帽儿山试验点水曲柳各种源的木质素含量差异显著,其中海林为 27.44%,与其他种源差异最显著,木质素含量最高为 27.44%,最低为 15.71%。种源间的差异显著 ($Sig. = 0.032$), 具有较强的选育潜力。木质素种源与地点间的交互作用显著 ($Sig. = 0.030$), 明不同立地差异、生态条件和栽培水平对水曲柳纤维素含量影响明显。带岭试验点水曲柳各种源木质素含量从小到大依次为露水河<带岭<三岔子<辉南<帽儿山<汤旺河<五常<弯甸子<临江<汪清<东方红<兴隆<恒仁<友好<方正<沾河<海林<绥棱<西丰。帽儿山试验点水曲柳各种源木质素含量从小到大依次为西丰<露水河<帽儿山

＜临江＜兴隆＜汪清＜沾河＜汤旺河＜五常＜恒仁＜三岔子＜绥棱＜弯甸子＜方正＜友好＜带岭＜东方红＜华南＜辉南＜海林。

2.3 水曲柳木材化学组分在不同种源间的多重比较分析

在带岭试验点,半纤维素含量差异极显著,纤维素含量差异显著,木质素含量差异极显著,西丰、带岭 2 个种源与其他种源差异显著。在帽儿山试验点,半纤维素含量差异极显著,纤维素含量差异显著,木质素含量差异极显著,西丰、海林 2 个种源与其他种源差异显著(表 2)。

2.4 水曲柳木材化学组分广义遗传力分析

种源广义遗传力: $H^2 = \sigma_g^2 / (\sigma_p^2 + \sigma_e^2 / n) = (V_P$

$-V_{PS}) / V_P$,其中, V_P 为种源均方差, V_{PS} 为种源×地点交叉项均方差。

将带岭试验点与帽儿山试验点的样本进行广义遗传力分析。半纤维素种源均方差为 7.976,种源×地点交叉项均方差为 6.281;纤维素种源均方差为 75.933,种源×地点交叉项均方差为 54.544;木质素种源均方差为 47.16,种源×地点交叉项均方差为 41.03。半纤维素的遗传力较低,为 0.212 5。纤维素的遗传力中低,为 0.281 7。半纤维素的遗传力较低,为 0.130 0。从遗传力大小来看,半纤维素受遗传力控制低,选择效率低;纤维素受遗传力控制中等偏低,选择效率低;半纤维素受遗传力控制极低,选择效率极低。

表 2 不同种源水曲柳试验林半纤维素、纤维素、木质素含量多重比较
Table 2 Comporison of the contents of hemicellulose,cellulose,and lignin in the sample of different provenances %

种源	半纤维素		纤维素		木质素	
	带岭试验点	帽儿山试验点	带岭试验点	帽儿山试验点	带岭试验点	帽儿山试验点
带岭	21.88±0.04bc	23.73±1.04ab	58.36±1.88a	41.88±4.67cde	12.63±3.49d	23.77±3.56abc
东方红	22.08±0.09bc	22.63±1.23abcd	53.29±5.25a	43.12±8.64bcde	17.52±5.89bcd	24.52±5.69abc
方正	21.48±0.22bc	23.54±0.68abc	48.29±5.92ab	50.18±7.20abcde	19.75±7.91abcd	19.64±2.90abc
海林	21.49±1.71bc	23.84±0.97ab	40.41±11.90b	39.67±13.89e	23.45±11.97abc	27.44±12.55a
恒仁	20.78±2.10cd	23.79±0.99ab	48.61±4.93ab	49.44±4.58abcde	18.66±5.41abcd	18.51±2.39bc
桦南	21.39±0.35cd	23.44±0.18abc	48.95±3.92ab	44.46±4.29abcde	16.11±2.18cd	24.72±2.40abc
辉南	21.73±0.77bc	22.57±0.75abcd	50.30±7.30ab	40.97±6.78de	14.36±1.64cd	26.10±5.85ab
临江	22.51±0.45bc	19.04±3.99e	53.23±2.43a	54.35±1.17ab	16.84±0.74bcd	16.52±0.62c
露水河	22.06±0.14bc	21.8±1.77bcd	56.86±2.89a	54.81±3.85a	12.33±2.57d	15.72±3.58c
帽儿山	22.52±0.76bc	20.81±1.25cde	53.76±5.22a	53.86±5.14ab	14.36±3.65cd	16.40±3.45c
三岔子	22.6±0.54bc	21.45±0.97bcde	52.24±3.67a	49.37±1.94abcde	14.08±1.39cd	18.87±1.65abc
绥棱	17.77±1.24e	21.54±0.73bcde	48.74±4.75ab	49.43±4.83abcde	24.65±4.16ab	19.13±3.08abc
汤旺河	21.44±0.72bc	20.89±0.40cde	48.71±1.71ab	54.2±2.87ab	15.55±0.15bcd	17.85±2.63bc
弯甸子	23.36±2.45b	20.03±1.99de	49.97±4.69ab	49.20±5.38abcde	16.17±2.11bcd	19.17±3.73abc
汪清	22.87±0.34bc	22.24±0.89bcd	53.70±3.82a	52.28±2.24abcd	17.08±1.50bcd	16.87±0.27c
五常	21.32±0.72bcd	21.24±0.46bcde	50.62±2.28ab	51.04±2.53abcde	16.06±1.24bcd	18.3±2.52bc
西丰	26.67a±1.66	25.04a±2.06	40.38b±4.93	52.79abc±1.34	27.44a±4.64	15.71c±1.04
兴隆	22.55±1.31bc	22.03±0.45bcd	52.12±8.01a	52.46±1.92abcd	18.03±2.95abcd	16.73±1.93c
友好	19.28±0.54de	21.84±0.86bcd	52.72±2.90a	45.57±7.65abcde	19.58±3.79abcd	23.10±7.58abc
沾河	21.94±0.32bc	21.29±0.93bcde	52.78±0.64a	44.83±4.96abcde	20.25±1.56abcd	17.69±1.00bc

3 结论与讨论

对 14 年生多点试验林的 20 个水曲柳种源的纤维素、半纤维素和木质素进行了测定,结果表明,不同种源的水曲柳在不同试验点的纤维素、半纤维素和木质素含量是不同的,同一种源的水曲柳在不同试验点其纤维素、半纤维素和木质素含量也是有差别的。水曲柳种源间差异显著,种源间存在遗传差异。多重比较表明在种源差异方面,海林、西丰 2 个种源较其他种源差异较大。这说明水曲柳的纤维素、半纤维素和木质素含量在受种源不同的影响的同时,也受所在地的生长条件影响^[10]。水曲柳的选择,需要根据各地环境及取材要求因地制宜^[11-14]。

半纤维素含量在地点间及种源×地点的交互作用差异极显著,纤维素含量在地点间及种源×地点的交互作用差异不显著,木质素含量在地点间及种源×地点的交互作用差异显著。在同等立地差异、生态条件和栽培水平下,半纤维素和木质素含量受影响明显,这为半纤维素和木质素在地点间的推广提供了有力依据。

群体的平均表现是通过种源的试验与分析结果反映出来的,同时种源的试验与分析结果也是试验生态学中的量化评价。在国内外的大量试验中,通过很多树种的种源早期选择,可以得出该试验的可信程度较高的结论,如油松种源试验 5~6 a 进行种源区划,马尾松 6~7 年生开展种源选择,柚木种源

选择评价始于 5 a,杉木的早期选择在 6 a 左右,火炬松和湿地松 10 a 左右^[15-20],木材化学组分对于木材的脆性、弹性、耐虫蛀性等影响显著^[21-23]等。因此,根据水曲柳 20 个种源地的种子在 2 个不同的地点生长所得的水曲柳样品的纤维素、半纤维素、木质素含量的结果分析,从理论和实践上,都会得出优良的效应^[24-27]。

参考文献：

[1] 田俊德,陈晓波,叶燕萍,等. 吉林地区水曲柳种源选择试验初报[J]. 吉林林业科技,1994(2):14-16.

[2] 李大纲,周敏,许小君. 木塑复合材的产品性能及其应用前景[J]. 机电信息,2004 (5):47-49.

[3] 汪贵斌,曹福亮,柳学军,等. 不同落叶杉种源木材化学性质的变异[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2009,33(6):15-19. WANG G B, CAO F L, LIU X J, *et al.* A study on chemical properties of wood of bald cypress provenances[J]. Journal of Nanjing Forestry University: Nat. Sci. Edi. , 2009, 33 (6): 15-19. (in Chinese)

[4] 徐有明,涂可高. 火炬松种源木材化学成分的变异[J]. 林产化学与工业,1997,17(1):73-78.

[5] 于东阳,梅芳,王军辉,等. 不同种源桤木制浆造纸性能的遗传变异[J]. 河南农业大学学报,2013,47(6):703-709. YU D Y, MEI F, WANG J H. Genetic variation of pulping performance of *Alnus cremastogyne* of different provenances[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2013, 47 (6): 703-709. (in Chinese)

[6] 杨章旗. 马尾松木材化学组分的遗传变异研究[J]. 福建林学院学报,2012,32(2):188-192. YANG Z Q. Studies on genetic variation of timber chemical composition of *Pinus massoniana*[J]. Journal of Fujian College of Forestry, 2012, 32(2):188-192. (in Chinese)

[7] 赵星,姚春丽,田睿,等. 不同种源粗皮桉的化学组成特性研究[J]. 造纸科学与技术,2009,28(1):6-11.

[8] 李莉. 我国水曲柳遗传育种研究进展[J]. 辽宁林业科技,2014 (2):52-54.

[9] 高惠旋. SAS 系统 SAS/ST AT 软件使用手册[M]. 北京:中国统计出版社,1997:309-330.

[10] 李斌,顾万春,夏良放,等. 鹅掌楸种源遗传变异和选择评价[J]. 林业科学研究,2001,14(3):237-244. LI B, GU W C, XIA L F, *et al.* Study on genetic variation and selectiong of main wood characteristics among provinces of li-riodendron[J]. Forest Research, 2001, 14 (3): 237-244. (in Chinese)

[11] 朱之悌. 林木遗传学基础[M]. 北京:中国林业出版社,1992. 163-190.

[12] 高惠旋. SAS 系统 SAS/ST AT 软件使用手册[M]. 北京:中国统计出版社,1997:309-330.

[13] 顾万春. 刺槐无性系 G× E 互作的研究——遗传稳定性和生长适应性的评价[J]. 林业科学研究,1991,4(6):623-628.

[14] ZOBEL B J, KELLISON C. 森林经营中遗传型和环境交互作用的重要意义[C]//第 8 届世界林业会议论文选. 北京:中国林业出版社,1981:162-167.

[15] 张贤珍. 农业数理统计计算程序[M]. 北京:农业出版社,1990:126-135.

[16] 徐化成,孙肇凤,郭广荣,等. 油松天然林的地理分布和种源区的划分[J]. 林业科学,1981,17(3):258-270.

[17] 张荣贵,蓝猛,乔光明,等. 红河州柚木种源试验五年评价[J]. 林业科学研究,1999,12(2):190-196.

[18] 阮梓材,王以珊. 杉木家系物候型与早期选择[J]. 林业科学研究,1999,12(3):291-298.

[19] 荣文琛,岳水林. 马尾松造林区优良种源选择[J]. 林业科学研究,1994,7(5):542-549.

[20] LI B, MCKEAND S E. Stability of loblolly pine families in the Southeastern US[J]. Silvae Genetica, 1989, 38:96-101.

[21] 刘主凰,王永英,林金国,等. 不同海拔人工林毛竹纤维形态和化学成分的差异[J]. 西北林学院学报,2011,26(2):196-199. LIU Z H, WANG S Y, LIN J G, *et al.* Difference in fiber morphology and chemical composition of *Phyllostachys heterocycla* cv. *Pubescens* from plantation of different altitudes[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2011, 26(2):196-199. (in Chinese)

[22] 张丽丛,雷亚芳,常宇婷. 栓皮栎软木主要化学成分的分析[J]. 西北林学院学报,2009,24(4):163-165. ZHANG L C, LEI Y F, CHANG Y T. Contents of the main chemical components of cork from quercus variabilis[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2009, 24(4):163-165. (in Chinese)

[23] 姚慧军,王彦丽,赵泾峰,等. 栓皮栎软木杂质微观构造及化学成分分析[J]. 西北林学院学报,2014,29(3):178-182. YAO H J, WANG Y L, ZHAO J F, *et al.* Microscopic structure and chemical composition analysis of quercus variabilis cork[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2014, 29 (3):178-182. (in Chinese)

[24] HAROLD C, WILLIAM M. Some anatomical characteristics of yellow poplar branch wood[J]. Wood Science, 1980, 13 (2):99-101.

[25] TAYLOR F W. Property variation within stems of selected hardwoods growing in the mid-south[J]. Wood Science, Mississippi. USA, 1979, 11(3):193-199.

[26] LIMSTROM G H, RAYMOND F F. Seed source and nursery effects on yellow-poplar plantations[J]. Journal of Forestry, US Forest Service, 1956, 54(12):828-831.

[27] ZOBEL B J, BRUCE. Wood variation: its causes and control [M]. Berlin: Springer Series in Wood Science, 1989.