

网络出版时间:2016-04-07 09:00

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2016.05.017

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20160407.0900.034.html>

桑树幼树条、杜仲条和柳条木材化学成分及其在树干上的变异研究

李玉秀,雷亚芳

(西北农林科技大学 机械与工程学院,陕西 杨凌 712100)

[摘要] **【目的】**研究桑枝、杜仲条和柳条木材的化学成分及各主要化学成分含量在树干高度上的变化规律,为木材更合理更有效的利用提供依据。**【方法】**以桑枝、杜仲条和柳条木材为研究对象,参考我国木材化学成分分析标准中规定的系列测定方法对其纤维素、综纤维素、木质素以及抽提物(热水抽提物、10 g/L NaOH 抽提物、苯醇抽提物)、灰分和含水率 6 个指标进行分析,并与重组木常用木材沙柳、杨木、速生杉木及棉秆进行比较。**【结果】**在树干不同高度上,对桑枝木材而言,纤维素含量差异达显著性水平,基部显著高于中部和梢部,中部与梢部差异不显著;木质素含量差异达极显著性水平,基部极显著高于中部和梢部,中部与梢部差异不显著;综纤维素含量基部和梢部极显著高于中部,基部与梢部差异不显著;灰分含量和含水率差异不显著。对杜仲条木材而言,苯醇抽提物含量梢部极显著高于基部和中部,基部与中部差异不显著;综纤维素、纤维素含量基部和中部极显著高于梢部,基部与中部差异不显著;灰分含量差异不显著;含水率差异达显著性水平,中部与梢部显著高于基部,中部与梢部差异不显著。对柳条木材,各部位综纤维素和木质素含量差异达极显著水平,基部均极显著高于梢部;灰分含量差异不显著;含水率差异达显著性水平,基部显著高于梢部。**【结论】**就木材化学成分而言,3 种木材的基部和中部木材性能优于梢部,3 种木材均可作为生产重组木的优质原料,且杜仲条更优。

[关键词] 桑枝;杜仲条;柳条;化学成分

[中图分类号] S781.42

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2016)05-0127-06

Chemical components and their variations along tree stem of young branches of *Ramulus mori*, *Eucommia ulmoides* and *Tamarix ramosissima*

LI Yu-xiu, LEI Ya-fang

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

Abstracts: 【Objective】 Contents of the chemical components from branches of young *Ramulus mori*, *Eucommia ulmoides* and *Tamarix ramosissima* were determined and their variations along tree stem were analyzed to provide basis for their efficient utilization. **【Method】** According to the Chinese standards for wood chemical component analysis, the chemical components (cellulose, holocellulose, lignin, extracts by hot water, 10 g/L NaOH and alcohol benzene, ash, and moisture) of branches of young *R. mori*, *E. umoides* and *T. ramosissima* were measured and analyzed. Finally, the results were compared with scrimbers, such as Psmmophiles, Birch, Grow-up chinese fir, and Cotton stalk. **【Result】** For young *R. mori* branches, the cellu-

[收稿日期] 2014-09-19

[基金项目] 国家林业公益性行业科研专项(201304511)

[作者简介] 李玉秀(1988—),女,山西洪洞人,在读硕士,主要从事木材加工新技术研究。E-mail:993927100@qq.com

[通信作者] 雷亚芳(1965—),女,陕西合阳人,教授,博士,硕士生导师,主要从事木质资源加工与利用研究。

E-mail:leiyafang@sina.com

lose content at the base was significantly higher than that at the middle and the end, and the difference between the middle and the end was not significant. The lignin content at base was very significantly higher than that at the middle and the end, and the difference between the middle and the end was not significant. The holocellulose contents at the base and the end were very significantly higher than that at the middle, and the difference between the base and the end was not significant. The differences in ash and moisture contents along the tree stem were not significant. For *E. ulmoides* wood, the content of benzene-alcohol extracts at the end was very significantly higher than that at the base and the middle, and the difference between the base and the middle was not significant. The difference in ash along the tree stem was not significant. The moisture contents at the middle and the end were very significantly higher than that at the base, and the difference between the middle and the end was not significant. For *T. ramosissima*, very significant difference was observed between the contents of holocellulose and lignin. The holocellulose and lignin contents at base were very significantly higher than that at the middle. The difference in ash contents along the tree stem was not significant. The moisture content at the base was very significantly higher than that at the end. 【Conclusion】 In aspect of chemical components, the wood properties at the bottom and middle blade were better than those at the top blade. All these three woods were good raw materials for scrimber and *E. ulmoides* was the best.

Key words: young *Ramulus mori* branches; *Eucommia ulmoides* branches; *Tamarix ramosissi* branches; chemical component

我国森林资源缺乏,木材供需矛盾尖锐,因此必须加强森林资源的经营培育、保护与合理利用,最大限度发挥木材的利用率,尤其是伐区剩余物的合理利用。重组木的研究已成为当今世界木材科学领域的一个热点。重组木像天然木材一样,具有美丽的花纹和优良的物理力学性能,其原料可以是农作物秸秆、枝桠材等^[1]。我国每年都会产出大量枝桠材,如桑树幼树条、杜仲条和柳条,它们都具有易管易种、适应力强、生长快等特点。木材化学成分是木材材性的一个重要方面,它影响着木材的物理力学性质、天然耐久性、材色和木材的加工利用性能^[2]。国内外许多学者对重组竹原料竹材和速生林(如杨木)的化学成分做了大量研究^[3-8]。何建伟等^[9]以我国西北地区丰富的沙柳资源为原料,对其进行了化学成分的测定,但有关桑枝、杜仲条和柳条(红柳)木材化学成分的研究至今尚未见报道。本试验研究了桑枝、杜仲条和柳条木材化学成分及其在树干上的变异,并与重组木常用木材及棉秆进行比较,探讨这 3 种枝桠材作为重组材原料的可行性,以期生产高性能的重组木寻求更广泛的原料资源,也为 3 种枝桠材的科学利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 主要试剂

蒸馏水、10 g/L NaOH 溶液、苯溶液、体积分数

95%乙醇溶液、体积分数 72%硫酸溶液、100 g/L 氯化钡溶液、冰醋酸(乙酸)、亚氯酸钠、丙酮、乙酸镁乙醇溶液。

1.2 主要仪器设备

索氏提取器(250 mL),电热水浴锅 DK-98-1 型(天津泰斯特仪器有限公司),循环水式真空泵 SHZ-D(Ⅲ)(巩义市英峪予华仪器厂),电热恒温鼓风干燥箱 DHG9123A 型,高温电阻炉 SX-4-10 型(武汉亚华电阻有限公司),1G2 玻璃滤器,可调式电热板 ML-1.8-4 型(北京科伟永兴仪器有限公司),高温炉 SX2-4-10 型(上海跃进医疗器械厂)。

1.3 样木的采集

桑(*Ramulus mori*)枝采自陕西省西安市周至县,为幼树条;杜仲(*Eucommia ulmoides*)条采自西北农林科技大学林学院杜仲实验基地;柳条为红柳(*Tamarix ramosissima*)条,采自陕西省榆林市定边县。样木基本信息见表 1,其中枝高和胸径均为 50 个样木的平均值。

样木采伐后,对桑枝和杜仲条,在每株样木上自枝条基部向上的 1/3、2/3 处截开分为 3 段,记为基部、中部和梢部;对柳条,在每株样木上自枝条基部向上的第一个分叉处截开分为 2 段,记为基部和梢部,基部为 3 年生,梢部为 1~2 年生。再将上述每一部分的每一长段样木截成 3~4 cm 的小木段,分别放入干燥箱中 80 ℃干燥 2~3 h,检验少许木段是

否可磨出适合的木粉,若木段含水率过高,则在粉碎机中会磨出大量黏在一起直径小于 0.42 mm 的木粉,这时需要继续干燥 0.5 h,如此重复。木段干燥合适后,将每一部分充分混合,置于粉碎机中粉碎,

过筛,取直径为 0.25~0.42 mm 的细末,晾至室温并达气干含水率,贮存于密封袋中并编号,供分析使用。

表 1 样木基本情况

Table 1 Basic situation of sample trees

树种名称 Name	树龄/年 Age	株数 Number of branches	枝高/cm Branches height	基部直径/mm Base diameter	中部直径/mm Middle diameter	梢部直径/mm Top diameter
桑 <i>R. mori</i>	1	50	144.13	16.26	13.14	10.35
杜仲 <i>E. ulmoides</i>	1	50	111.55	9.06	7.49	5.12
红柳 <i>T. ramosissima</i>	1~3	50	120	6.83	—	5.14

1.4 木材化学成分的测定方法

根据 GB 2677.2—93 至 GB 2677.10—93 中规定的标准方法,对桑枝、杜仲条、柳条木材的纤维素、综纤维素、木质素以及抽提物(热水抽提物、10 g/L NaOH 抽提物、苯醇抽提物)、灰分和含水率 6 个指标进行测定,每组样品做 3 次平行测定,结果取平均值。

2 结果与分析

2.1 不同木材抽提物

桑枝、杜仲条和柳条木材的化学成分含量见表 2。经查阅,重组木材沙柳^[10]、杨木^[11]、速生杉木^[12]及棉秆^[13]的主要化学成分含量见表 3。

表 2 桑枝、杜仲条和柳条木材的化学成分含量

Table 2 Determination of chemical components contents in <i>Ramulus mori</i> , <i>Eucommia ulmoides</i> and <i>Tamarix ramosissima</i> woods										%
树种 Tree species	部位 Part	含水率 Moisture content	灰分 Ash	热水 抽提物 Hot water extracts	10 g/L NaOH 抽提物 10 g/L NaOH extracts	苯醇 抽提物 Alcohol benzene extracts	纤维素 Cellulose	综纤维素 Holocellulose	木质素 Ligin	
桑 <i>R. mori</i>	基部 Base	6.72	0.53	7.32 A	23.06	6.14	43.64 a	68.35 A	22.07 A	
	中部 Middle	6.77	0.63	5.74 B	24.23	6.04	40.54 b	70.59 B	19.28 B	
	梢部 Top	6.68	0.50	8.26 A	26.14	6.31	40.30 b	67.21 A	20.69 B	
	平均值 Average	6.72	0.55	7.11	24.48	6.16	41.49	68.72	20.68	
杜仲 <i>E. ulmoides</i>	基部 Base	8.43 a	0.60	6.20	21.61	3.99 A	39.35 A	71.64 A	22.48	
	中部 Middle	9.21 b	0.45	7.19	23.12	3.35 A	37.83 A	73.50 A	20.73	
	梢部 Top	9.22 b	0.58	9.24	25.34	6.17 B	34.32 B	65.65 B	21.75	
	平均值 Average	8.95	0.54	7.54	23.36	4.50	37.17	70.26	21.65	
红柳 <i>T. ramosissima</i>	基部 Base	7.75 a	1.44	10.93	26.32	7.68	38.38	70.51 A	21.14 A	
	梢部 Top	7.23 b	2.43	13.44	27.29	10.33	38.87	66.67 B	19.53 B	
	平均值 Average	7.49	1.94	12.19	26.81	9.01	38.63	68.59	20.34	

注:木材化学成分以绝干材为基准;综纤维素用亚氯酸钠法测定。同树种同列数据后标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),标不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$)。

Note:Wood chemical components were benchmarked against absolutely dry wood;Holocellulose was measured using the sodium chlorite method. Different small letters in each column mean significant difference ($P<0.05$),different capital letters in each column means extremely significant difference ($P<0.01$).

表 3 重组木常用木材及棉秆的主要化学成分含量

Table 3 Chemical components contents of common scimber materials cotton stalk and woods								%
树种 Tree species	灰分 Ash	热水抽提物 Hot water extracts	10 g/L NaOH 抽提物 10 g/L NaOH extracts	苯醇抽提物 Alcohol benzene extracts	纤维素 Cellulose	综纤维素 Holocellulose	木质素 Ligin	
沙柳 <i>Psmmophiles</i>	3.2	10.33	23.18	2.91	55.57	78.96	18.20	
杨木 <i>Birch</i>	0.68	3.34	17.71	1.74	48.76	—	21.54	
速生杉木 Grow-up chinese fir	0.72	4.03	15.92	4.29	—	—	31.41	
棉秆 <i>Cotton stalk</i>	1.86	3.80	19.70	1.54	43.74	74.10	21.13	

本试验 3 种木材中,杜仲条木材的总抽提物含量(35.40%)低于桑枝(37.75%)和柳条木材(48.01%),因此杜仲条木材易于加工,切削阻力小(表 2),但其材色较桑枝和柳条木材浅,耐久性较桑枝、柳条木材略差。与重组木材沙柳、杨木、速生杉木及棉秆相比,桑枝和杜仲条的总抽提物含量与沙柳(36.42%)相近,比杨木(22.79%)、速生杉木(24.24%)和棉秆(25.04%)偏高,而柳条木材远比这 3 种常用木材及棉秆的总抽提物含量高。

由表 2 可知,桑枝木材的热水抽提物基部和梢部极显著高于中部,基部与梢部差异不显著;10 g/L NaOH 抽提物含量由树基向上逐渐升高,但差异不显著;苯醇抽提物含量各部位基本不变。杜仲条木材的热水抽提物和 10 g/L NaOH 抽提物含量由树基向上逐渐升高,但差异不显著;苯醇抽提物梢部极显著高于基部和中部,基部与中部差异不显著;柳条木材的热水抽提物、10 g/L NaOH 抽提物和苯醇抽提物含量由树基向上逐渐升高,但差异均不显著。表明在树干方向上 3 种木材均是基部和中部的性能较好。

2.2 不同木材主要性能指标的比较

2.2.1 纤维素 由表 2 可知,杜仲条和桑枝木材的纤维素含量由树基向上呈降低的趋势,桑枝木材的纤维素含量基部显著高于中部和梢部,而中部与梢部差异不显著;杜仲条木材的纤维素含量基部和中部极显著高于梢部,而基部与中部差异不显著;柳条木材的纤维素含量在树干高度上变化不明显。表明在树干方向上,就纤维素含量而言,桑枝和杜仲条的基部木材性能较好,柳条 2 个部位的木材性能相近。

由表 2 可知,桑枝、杜仲条和柳条木材的纤维素含量平均值分别为 41.49%,37.17%和 38.63%,其中桑枝木材的含量最高,杜仲条的最低。与重组木常用木材及棉秆(表 3)比较,3 种木材的纤维素含量远比沙柳(55.57%)和杨木(48.76%)低;杜仲条和柳条的纤维素含量比棉秆(43.74%)偏低,桑枝的纤维素含量与棉秆相近。从纤维素含量来看,桑枝、杜仲条和柳条木材相对于棉秆来说,是较优良的重组木原料。在这 3 种木材中,桑枝木材更适合作为重组木原料。

2.2.2 综纤维素 由表 2 可以看出,桑枝和杜仲条木材的综纤维素含量在树干高度上呈两端低、中间高、基部含量高于梢部的分布规律,柳条木材的综纤维素含量树干基部高于梢部。方差分析表明:桑枝、柳条和杜仲条木材的综纤维素含量在树干高度上的

差异均达到极显著水平,对于桑枝木材,基部和梢部极显著低于中部,基部与梢部差异不显著;对于杜仲条木材,基部和中部极显著高于梢部,基部与中部差异不显著;对于柳条,基部极显著高于梢部。表明在树干方向上,就综纤维素含量而言,桑枝中部木材性能相对较好,杜仲条的基部和中部木材性能较好,柳条基部木材性能较好。

从表 2 可知,桑枝、杜仲条和柳条木材的综纤维素平均值为 68.72%,70.26%和 68.59%。与重组木常用木材及棉秆(表 3)相比,桑枝和柳条木材综纤维素含量比沙柳(78.96%)偏低,比棉秆(74.10%)略低;杜仲条木材综纤维素含量比沙柳略低,与棉秆相近。可以说桑枝、杜仲条和柳条木材均适合作为重组木原料,其中杜仲条木材为更优良的原料。

2.2.3 木质素 由表 2 可知,桑枝和杜仲条木材的木质素含量在树干高度上呈两端高、中间低、基部含量最高的分布规律,柳条木材的木质素含量由树干基部向上呈降低的趋势。方差分析表明,桑枝木材基部木质素含量极显著高于中部和梢部,中部与梢部差异不显著;柳条基部木质素含量极显著高于梢部;杜仲条各部位木材木质素含量差异不显著。表明在树干方向上,就木质素含量而言,桑枝木材中间和梢部的木材性能较好,杜仲条 3 个部位的木材性能相近,柳条梢部的木材性能较好。

由表 2 可见,桑枝、杜仲条和柳条木材的木质素平均值分别 20.68%,21.65%和 20.34%。与重组木常用木材及棉秆(表 3)比较,3 种木材木质素含量远比速生杉木(31.41%)低,与杨木(21.54%)和棉秆(21.13%)相近,比沙柳(18.20%)略高,因此桑枝、杜仲条和柳条木材的木质素含量属于偏低范畴。从此角度看,3 种木材适合作为重组木原料,其中桑枝和柳条木材更优良。

2.2.4 灰分 由表 2 可知,桑枝木材的灰分含量在树干高度上呈两端低、中间高的分布规律;杜仲条木材的灰分含量在树干高度上呈两端高、中间低的分布规律;柳条木材的灰分含量基部低于梢部。方差分析表明,桑枝、杜仲条和柳条木材的灰分含量在树干高度上的差异均不显著。从这个角度看,在树干方向上,3 种木材 3 个部位木材性能相近。

由表 2 可知,桑枝、杜仲条和柳条木材的灰分平均值为 0.55%,0.54%和 1.94%。3 种木材原料中,桑枝和杜仲条木材的灰分含量偏低,柳条略高。与重组木常用木材及棉秆相比,桑枝和杜仲条木材

灰分含量比沙柳(3.2%)、杨木(0.68%)、速生杉木(0.72%)和棉秆(1.86%)都偏低,柳条灰分含量与棉秆相近,比杨木和速生杉木要偏高。从这个角度来看,桑枝和杜仲条木材灰分都低于1%,属于优质范围,因此为较优良材料。

2.2.5 含水率 由表2可知,桑枝、杜仲条和柳条木材的气干含水率平均值分别为6.72%,8.95%和7.49%。桑枝木材的气干含水率在树干高度上呈两端低、中间高的分布规律;杜仲条木材的气干含水率由树基向上呈升高的趋势;柳条木材的气干含水率由树基向上呈降低的趋势。方差分析表明,在树干不同高度上,杜仲条和柳条木材气干含水率的差异达显著性水平,对于杜仲条,中部和梢部显著高于基部,中部与梢部差异不显著;对于柳条,基部显著高于梢部。桑枝木材各部位气干含水率差异不显著。

3 讨论与结论

沙柳、杨木、速生杉木和棉秆均是制造重组材的适宜原料,其物理力学性能完全达到甚至已超过刨花板^[13]。木材抽提物在木材中所占比例较少,但对木材密度、木材的色、香、味、天然耐久性、木材防腐改性处理、板材干燥、胶合及木材强度等材性和利用均有一定的影响^[14]。桑枝、杜仲条和柳条的抽提物含量高于重组木常用木材和棉秆。纤维素是木材细胞壁的骨架,是其主要成分,其含量大小与实体木材性能有很大的关系^[15]。一般来说,木材原料的纤维素含量越高,实体木材的性能越好^[16]。3种木材的纤维素含量远比沙柳(55.57%)和杨木(48.76%)低;杜仲条和柳条的纤维素含量比棉秆(43.74%)偏低,桑枝的纤维素含量与棉秆相近。综纤维素是植物原料中除去木素以外的全部碳水化合物,实际上综纤维素是纤维素和半纤维素的总和^[15]。纤维素含量越高,板材的性能越好。桑枝和柳条木材综纤维素含量比沙柳(78.96%)偏低,比棉秆(74.10%)略低;杜仲条木材综纤维素含量比沙柳略低,与棉秆相近。木质素在木材组织中起着胶固作用,其含量的大小对实体木材的性能和纤维板的胶合具有很大影响,一般选用木质素含量低的原料为好^[15]。3种木材木质素含量远比速生杉木(31.41%)低,与杨木(21.54%)和棉秆(21.13%)相近,比沙柳(18.20%)要略高,因此桑枝、杜仲条和柳条木材的木质素含量属于偏低范畴。灰分主要是钾、钠、钙的无机盐类。灰分含量高将影响胶黏剂的结合力,通常表现为内结合力低,握钉力差,二次加工贴面容易脱落^[17],因

此需要在生产重组木过程中控制灰分的含量,灰分的含量越少越好。桑枝和杜仲条木材灰分含量比沙柳(3.2%)、杨木(0.68%)、速生杉木(0.72%)和棉秆(1.86%)都要低,柳条灰分含量与棉秆相近,但比杨木和速生杉木要高。分析得出,3种枝桠材纤维素和综纤维素含量略低于重组木常用木材,且与棉秆相近;木质素含量相近或低于重组木常用木材及棉秆,说明桑枝、杜仲条和柳条都属于生产重组木的优质原料。

在树干不同高度上,3种木材的基部和中部木材性能优于梢部。另外3种枝桠材的枝条均通直,易于疏解、铺装。3种枝桠材中,杜仲条木材性能最好,故采用杜仲条的基部和中部生产出的重组木性能会更优。

[参考文献]

- [1] 张奇,杨玲.重组木的优势与存在的问题分析[J].建筑人造板,2002(1):7-8.
Zhang Q, Yang L. Analyze dominancy of scrimber and existent question [J]. Building Artificial Boards, 2002(1): 7-8. (in Chinese)
- [2] 成俊卿.木材学[M].北京:中国林业出版社,1985:186-203.
Cheng J Q. Wood science [M]. Beijing: China Forestry Publishing, 1985: 186-203. (in Chinese)
- [3] 任海青,周海滨.三倍体毛白杨木材化学成分和纤维形态的分析[J].安徽农业大学学报,2006(2):160-163.
Ren H Q, Zhou H B. Analysis on chemical components and fiber dimensions of tritoid *Populus tomentosa* [J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2006(2): 160-163. (in Chinese)
- [4] Kevince C, Stephane D, Anelie P. Comparison of chemical composition and decay durability of heat treated wood cured under different inert atmospheres: nitrogen or vacuum [J]. Polymer Degradation and Stability, 2013(98): 677-681.
- [5] 陈茜文.湖南20种木材化学成分分析研究[J].湖南林业科技,1994(3):43-44.
Chen Q W. Analysis of wood chemical composition of 20 woods in Hunan [J]. Hunan Forestry Science & Technology, 1994(3): 43-44. (in Chinese)
- [6] 聂少凡,林思祖,林金国,等.人工杉木木材化学成分的变异规律[J].南京林业大学学报,1998(3):46-49.
Nie S F, Lin S Z, Lin J G, et al. A study on the law of variation in chemical composition of chinese fir wood from plantations [J]. Journal of Nanjing Forestry University, 1998(3): 46-49. (in Chinese)
- [7] 范振富,高瑞龙,王杰铃.香椿人工林和天然林木材纤维形态和化学成分比较研究[J].亚热带植物科学,2003(3):34-37.
Fan Z F, Gao R L, Wang J L. Comparative studies on fiber morphology and chemical composition between *Toona sinensis* wood from plantation and natural forest [J]. Subtropical Plant

Science,2003(3):34-37. (in Chinese)

[8] 王桂岩,吕雷昌,袁素萍,等. 5 品种杨树木材纤维形态和化学成分 [J]. 山东林业科技,1992(2):69-72.
Wang G Y,Lü L C,Yuan S P,et al. The wood fiber morphology and chemical composition of 5 poplar species [J]. Journal of Shandong Forestry Science and Technology,1992(2):69-72. (in Chinese)

[9] 何建伟,苏金梅,宁国强. 环保型沙生灌木型材的工艺研究 [J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版),2011(2):234-238.
He J W,Su J M,Ning G Q. Technical study of environmental sha sheng shrubs profiles [J]. Journal of Neimenggu Forestry College(Natural Sciences Edition),2011(2):234-238. (in Chinese)

[10] 冯利群,高晓霞,王喜明. 沙柳木材显微构造及其化学成分分析 [J]. 内蒙古林学院学报,1996(1):38-42.
Feng L Q,Gao X X,Wang X M. Wood microscopic structure and chemical composition analysis of salix [J]. Journal of Neimenggu Forestry College,1996(1):38-42. (in Chinese)

[11] 刘洪涛,刘力,斯红光,等. 几种杨树木材化学成分分析 [J]. 浙江林学院学报,1995(4):343-346.
Liu H E,Liu L,Si H G,et al. Chemical composition of wood of some of popars [J]. Journal of Zhejiang Forestry College,1995(4):343-346. (in Chinese)

[12] 余学军,田荆祥. 浙江速生杉木化学成分分析 [J]. 浙江林学院学报,1997(4):18-20.
Yu X J,Tian J X. Chemical composition of fastgrowing chinese fir wood from Zhejiang [J]. Journal of Zhejiang Forestry College,1997(4):18-20. (in Chinese)

[13] 宋孝周,郭康权. 棉秆特性及其重组板材的研究 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2007(11):106-110.
Song X Z,Guo K Q. The research and characterization of cotton stalk as papermarkong raw material and scrimber [J]. Journal of Northwest A&F University(Nutrual Science Edition),2007(11):106-110. (in Chinese)

[14] 杨淑惠,李友森,高扬. 棉秆原料特性的分析研究 [J]. 中国造纸,1989(2):21-29.
Yang S H,Li Y S,Gao Y. The research and characterization of cotton stalk as papermarkong raw material [J]. China Pulp & Paper,1989(2):21-29. (in Chinese)

[15] 梁善庆,罗建举. 人工林米老排木材化学成分及其在树干高度上的变异 [J]. 中南林学院学报,2004(5):28-31,52.
Liang S Q,Luo J J. Study of *Mytilaria laosensis* plantation: Contents of wood chemical components and their variation along tree stem [J]. Journal of Central South Forestry University,2004(5):28-31,52. (in Chinese)

[16] 李莉,王昌命. 西南桦木材化学成分及其变异的研究 [J]. 木材加工机械,2007(5):26-30.
Li L,Wang C M. Study on the chemical component and variation of *Betula alnoides* wood [J]. Wood Processing Machinery,2007(5):26-30. (in Chinese)

[17] 邱坚,杜官本,保昆雁. 3 种人工培育木材化学成分与纤维形态的研究 [J]. 西南林学院学报,2003(2):81-83,87.
Qiu J,Du G B,Bao K Y. Analysis on chemical components and fiber dimensions of three woods from plantations [J]. Journal of Southwest Forestry College,2003(2):81-83,87. (in Chinese)

(上接第 126 页)

[25] 原永兵. 苹果果皮红色形成的机制 [M]. 北京:科学出版社,1995:121-129.
Yuan Y B. Mechanism of red formation of apple peel [M]. Beijing:Science Press,1995:121-129. (in Chinese)

[26] 陈继卫,沈朝栋,贾玉芳,等. 红枫秋冬转色期叶色变化的生理特性 [J]. 浙江大学学报:农业与生命科学版,2010,36(2):181-186.
Chen J W,Shen C D,Jia Y F,et al. Physiological changes of maple leaves during the color-changing period in autumn and winter [J]. Journal of Zhejiang University: Agriculture and Biotechnology,2010,36(2):181-186. (in Chinese)

[27] 安田齐. 花色的生理生物化学 [M]. 傅玉兰,译. 北京:中国林业出版社,1989:68-100.
An T Q. Physiological biochemistry of flower color [M]. Fu Y L,translate. Beijing:Chinese Forestry Press,1989:68-100. (in Chinese)

[28] 周爱琴,祝军,生吉萍,等. 苹果花青素形成与 PAL 活性及蛋白质含量的关系 [J]. 中国农业大学学报,1997,2(3):97-99.
Zhou A Q,Zhu J,Sheng J P,et al. The relationship of antho-

cyanidin fomation,PAL activity and protein content during apple coloring [J]. Journal of China Agriculture University,1997,2(3):97-99. (in Chinese)

[29] Constabel F. The correlation of phenylalamine ammoniaband cinnamic acid 4-hydroxylase activity changes in *Jerusalem artichoke* tuber tissues [J]. Planta,1971,96:306.

[30] 崔晓静. 红叶石楠叶色变化的生理生化研究 [D]. 保定:河北农业大学,2008.
Cui X J. Study on changes of physiology and biochemistry during leaf color transformation of *Photinia fraseri* ‘Red Robin’ [D]. Baoding:Hebei Agriculture University,2008. (in Chinese)

[31] 聂庆娟,史宝胜,孟朝,等. 不同叶色红炉叶片中色素含量、酶活性及内含物差异的研究 [J]. 植物研究,2008,28(5):599-602.
Nie Q J,Shi B S,Meng C,et al. The enzyme activities,pigment and inclusion contents in different leaves color of *Cotinus coggygia* ‘Royal Purple’ in autumn [J]. Bulletin of Botanical Research,2008,28(5):599-602. (in Chinese)