

I-69 杨木材纤维形态和化学成分的研究*

张建国 刘盛全

(安徽农业大学森林利用学院, 合肥, 230036)

摘要: 本文以施肥和未施肥两种条件下 12 年生的 5 株 I-69 杨 (*Populus deltoides* Bartr.cv."Lux" ex I-69/55) 为研究对象, 对纤维长度、纤维宽度、长宽比、水分含量、1%NaOH 抽提物、纤维素、苯醇抽提物、木素和聚戊糖含量等指标进行了系统测试, 并对测试数据进行了统计分析。结果表明: 1) I-69 杨经施肥处理后纤维宽度大于未施肥处理的纤维宽度, 但施肥处理的纤维长度和长宽比却小于未施肥处理的纤维长度和长宽比。2) 施肥过的 I-69 杨边材苯醇抽提物和木素的变异系数明显偏大, 说明施肥对 I-69 杨边材间的化学成分变异有很大影响, 而对心材化学成分变异不大; 未施肥的 I-69 杨边材和心材的化学成分变异都不大。未施肥 I-69 杨 1%NaOH 抽提物和苯醇抽提物含量边材高于心材, 而施肥明显降低了 I-69 杨边材的 1%NaOH 抽提物含量, 使 1%NaOH 抽提物含量心材高于边材, 而苯醇抽提物含量仍然是边材高于心材。3) 施肥和未施肥 I-69 杨边材比较各项成分之间差异不显著; 施肥和未施肥 I-69 杨心材比较除水分含量之外, 其余各项成分之间差异不显著; 施肥 I-69 杨边材与心材比较除聚戊糖明显差异显著外, 其余各项成分之间差异不显著; 未施肥 I-69 杨边材与心材比较除 1%NaOH 抽提物和聚戊糖含量差异显著外, 其余各项成分之间差异不显著。

关键词: I-69 杨; 纤维形态; 化学成分

Study on Wood Fiber Morphology and Chemical Composition in Poplar 69

Zhang JianGuo Liu Shengquan

(Forest Utilization College, Anhui Agricultural University, Hefei, 230036)

Abstract : In order to investigate the effect of fertilization on wood properties of poplar 69(*Populus deltoides* Bartr.cv."Lux" ex I-69/55), 5 trees of poplar 69 with 12 year-old grown in two fertilization conditions were selected as testing materials, and analyzed the wood fiber form (including fiber length, fiber width and ratio of length to width),and chemical composition (including the contents of water, 1% NaOH extractive, cellulose, alcohol extractive, lignin, and pentosan). The results show that: 1) Fertilization treatment has a positive effect on fiber width, but has a negative effect on fiber length and ratio of length to width. 2) Fertilization treatment has great effect on sapwood's chemical composition of poplar 69, but has no effect on heartwood's chemical composition; The sapwood's 1%NaOH and alcohol extractive content of unfertilized poplar 69 are higher than heartwood's, but fertilization treatment reduce the content of 1%NaOH in sapwood.3) Analysis of variance indicates that the selected fertilization treatment has no significant effect on poplar 69 between sapwood and heartwood except the content of 1%NaOH extractive and pentosan.

Key words: poplar 69; fiber morphology; chemical composition

杨树 (*Populus*. spp.) 是一种优良的速生树种, 因其生长快、适应性强、繁殖容易、木材用途广泛而早引起世界各国的关注[1]。杨树是世界人工林发展的重要三大速生树种之一, 在我国木材生产中占有重要的比重, 其种类繁多, 分布广泛, 主要用作建筑、板料、火柴杆和纸浆造纸等。我国共有杨树人工林 666 万 hm², 超过全世界其他国家杨树人工林面积的总和[2]。其中杨树品系中的 I-69 杨 (*Populus deltoides* CV. I-69/55) 原产于意大利的波河流域, 属南方型栽培品种, 是典型的阔叶树材。1973 年引进到我国南方栽种, 取得了广泛成功, 现已为我国人工材定向培育的主要树种之一[3]。木材的纤维形态与制浆造纸性能有密切关系, 纤维形态特征是影响造纸质量的重要因子[4,5,6]。一般认为: 造纸材的纤维宜细而长, 其长宽比应大于 30, 且愈大愈好; 木材纤维长度应呈较均整的正态分布。这样, 纤维之间才能有较好的交织性能和结合强度, 成纸才能结构均匀, 并有较好的物理强度。化学成分对木材的制浆造纸性能有重要影响, 其中纤维素含量直接影响制浆得

*安徽省自然科学基金和安徽省优秀青年基金资助项目

率,原料中纤维素含量高,制浆得率亦高,一般认为造纸原料纤维素含量应高于40%,否则不经济。知道木素含量才能制订合理的蒸煮和漂白工艺条件,提高纸浆质量,原料的木素含量应适宜,太高则制浆和漂白时消耗药品多。抽提物是植物纤维原料中少量成分,为杂物,其含量宜低。1%NaOH抽提物含量高,则说明原料变质严重。苯醇抽提物含量高,则增加蒸煮时药品消耗,延长蒸煮过程,影响浆料颜色[7]。本文通过试验来分析施肥和未施肥处理对I-69杨木材纤维形态及化学成分的主要影响,以期为杨树加工利用尤其用于纸浆造纸提供必要的理论依据。

1. 材料与方方法

1.1 样地与样木

实验所用5株I-69杨(*Populus deltoides* Bartr.cv."Lux" ex I-69/55)于2000年11月采自安徽省天长市市郊林场两块相邻的试验林(D1和D2),这两块试验地,除施肥处理与未施肥处理外,其他因素都尽量控制在同一水平,分别从D1和D2两块试验地内随机采伐平均木3株和2株。这些林地于1989年造林,种植密度为4m x 5m。两块试验地的施肥处理及采伐时林分生长状况如表1(施肥处理地是从第4年开始施肥的)。

表1 试验地的施肥处理及林分生长状况

Table 1 The growth condition of poplar trees in different fertilization fields

| 试验地号 | 施肥条件 | 树样 | 树龄(年) | 胸径(cm) | 树高(m) |
|------|-------|------|-------|--------|-------|
| D1 | 施肥处理 | 01-1 | 12 | 24.2 | 14.3 |
| | | 01-2 | 12 | 23.9 | 14.0 |
| | | 01-3 | 12 | 24.3 | 14.2 |
| D2 | 未施肥处理 | 02-1 | 12 | 23.8 | 13.9 |
| | | 02-2 | 12 | 23.5 | 13.8 |

1.2 试样制备

1.2.1 纤维形态测量的试样制备

在每株样木的胸高处切取一个厚约5cm的圆盘,在每个圆盘上沿南北方向通过髓心,逐轮取样(包括边材和心材),劈成火柴棒大小,混合后拉四分法取样3—5g,置于加有蒸馏水的试管中煮沸至下沉软化,然后按常规方法进行纤维离折。其中,纤维长度的测定是自髓心向外逐年取样,而纤维宽度的测定是自髓心向外每四个年轮取样,分为内、中、外(分别用I、M、O表示)三部分。

1.2.2 化学成分测定的试样制备

5株样木分心边材分别测定化学成分,将纤维形态观测所劈木棒拉四分法取样,每个圆盘均取一定的量。为了使测定的化学成分能反映整株木材的综合情况,在取样时按各圆盘横截面面积大小的比例来确定各圆盘取样量的比例,混合后置于粉碎机中磨至全部能通过40目筛的细末,过筛,截取能通过40目筛,但不能通过60目筛的细末,贮于具磨砂玻塞的广口瓶中待分析。按造纸植物纤维原料化学成分分析方法进行测定。

1.3 试验方法

1.3.1 纤维形态测量方法

将试条自髓心向外逐年取样,用离析法在投影仪上测定纤维长度,将试条自髓心向外,每隔4年制一2cm x 2cm的小试块(分为内、中、外三部分,分别用I、M、O表示),用1份冰醋酸,2份过氧化氢快速软化法软化木材,并做成切片,从中随机取4-6片横切面切片,置于带有目镜测微尺的高倍显微镜下(放大倍数为400倍),分别测弦向和径向的纤维宽度。

1.3.2 化学成分测定方法

将试样在100—105℃烘干至恒重时所失去的重量测定其水分含量;用1%氧化钠热溶液对植物纤维

原料进行抽提，将残渣洗涤烘干后，根据处理前后试样的重量差，即得 1% 氢氧化钠抽提物的含量；使用浓硝酸和乙醇溶液处理试样，试样中的木素被硝化并有部分被氧化，生成的硝化木素和氧化木素溶于乙醇溶液，与此同时亦有大量的半纤维素被水解、氧化而溶出，所得残渣即为硝酸乙醇纤维素含量；用苯—醇溶液抽提试样，将抽提液蒸发，烘干后，称量其不易挥发的残渣，即得苯醇抽提物含量；使用 72% 的硫酸处理已经脱去提取物的木粉（用苯醇），其中不溶于酸溶液的部分得到酸不溶木质素，即克拉森木质素；使用 12% 盐酸溶液与原料共同加热，以便其中聚戊糖转化为糠醛，并用容量法测定蒸馏出来的糠醛，测定此糠醛的含量再换算即得聚戊糖的含量。

1.4 数据处理方法

数据分析主要采用 EXCEL 软件对木材纤维形态及化学成分各项指标间的差异进行统计分析和方差分析。

1.5 主要实验仪器及设备

磨刀机：天津爱华 MDJ-4 自动磨刀机

切片机：德国 Leica Jung SM2000 滑走式切片机

显微镜：江苏光学仪器厂

偏光显微镜：江南光学仪器厂 TXP-7 型

投影仪：江南光学仪器厂卧式投影仪

天平：瑞士 GB303 Mettler Toledo 电子分析天平

干燥箱：上海实验仪器厂 301A-3 型干燥箱

计算机：联想奔腾—II 及 LJ—2110P 打印机等。

2. 结果与分析

2.1 纤维形态测量：

2.1.1 纤维长度

纤维长度是造纸用材树种的重要指标之一[8]。本文研究的杨树在施肥处理下的纤维长度低于未施肥处理。由表 2 可知，施肥处理的木材纤维长度均值为 1.113mm，未施肥处理的纤维长度均值为 1.170mm，比未施肥处理减小了 4.88%，这可能是因为施肥促进杨树生长，当生长速度较快时，其纤维就来不及充分伸长，纤维长度相对就会较短。

表 2 施肥与未施肥条件下 I-69 杨木材纤维形态特征

Table2 The wood fiber features of poplar in different fertilizations

| 施肥条件 | 树样 | 纤维长度 (mm) | 纤维长度 CV(%) | 纤维宽度 (um) | 纤维宽度 CV(%) | 长宽比 |
|------|------|--------------|---------------|--------------|---------------|------|
| 施肥 | 01-1 | 1.068 | 13.83 | 16.96 | 15.19 | 63.0 |
| | 01-2 | 1.264 | 5.87 | 17.11 | 12.00 | 73.9 |
| | 01-3 | 1.031 | 24.08 | 16.38 | 16.38 | 61.3 |
| | 平均值 | 1.113 | 18.47 | 16.96 | 14.58 | 65.6 |
| 未施肥 | 02-1 | 1.164 | 14.49 | 16.13 | 14.47 | 72.1 |
| | 02-2 | 1.176 | 15.77 | 16.49 | 13.38 | 71.3 |
| | 平均值 | 1.170 | 15.13 | 16.31 | 13.93 | 71.7 |

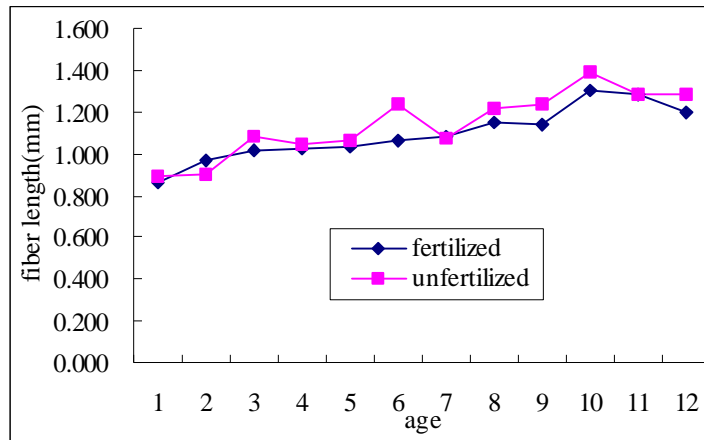


图 1 施肥与未施肥条件下纤维长度径向变异

Figure1. The radial variation patterns of fiber length in different fertilizations

图 1 为施肥和未施肥两种条件下纤维长度径向变异曲线。由图可知, 在前 3 年, 两种处理下的木材纤维长度交替变化, 从第 4 年施肥处理地施肥以后, 未施肥处理的木材纤维长度除第 5 年和第 11 年外均大于施肥处理。Sanio's 定律指出, 树干的任何断面, 纤维长度均从髓心向外, 随年轮递增依次增加, 直至达到最大长度而呈现近似固定状态[9]。由图 1 可知, 本文所研究的杨木在两种条件下从髓心向外, 纤维长度变化的总体趋势基本相似, 都表现为增长趋势, 由于本试验所取 12 年生杨树仍处于幼龄期, 故其纤维长度仍处增长趋势。这种变异规律符合植物生理学特点[10]。

表 3 不同施肥条件及不同部位下 I-69 杨木材纤维形态方差分析结果

Table3 The variance analysis of poplar wood fiber form in different fertilizations and radial places

| 材性 | 不同施肥条件 | 不同部位 (I, M, O) |
|-----------|--------|----------------|
| 纤维长度 (mm) | ns | *** |
| 纤维宽度 (um) | ns | ** |
| 长宽比 | ns | ns |

注: I, M, O: 分别代表树干横切面的内部、中部和外部, 平均每部分为 4 个年轮

ns: 不显著; *: 5%水平下显著; **: 1%水平下显著; ***: 0.1%水平下显著

经方差分析 (表 3), 从髓心向外, 纤维长度径向变异达显著水平, 这一结论与柴修武等[11]在研究 I-69 杨中发现杨木纤维长度与施肥产生的高生长速度呈弱负相关且差异未达显著水平的结论完全相符。

2.1.2 纤维宽度

由表 2 可知, 未施肥处理的木材纤维宽度均值为 16.31um, 施肥处理的木材纤维宽度均值为 16.96um, 比未施肥处理的大 3.99%。此结果说明施肥可促进杨树生长, 与罗建举等[12]研究尾叶桉所得的纤维宽度变异结果一致, 皆是施肥的大于未施肥的。

图 2 为两种条件下纤维宽度的径向变异情况。由图可知, 施肥处理随着杨树年龄的增加对纤维宽度的作用明显, 未施肥处理的杨树木材纤维宽度在最初几年内显增加趋势, 但随着年龄的增加有着降低的趋势。经过施肥处理的杨树木材纤维宽度随着年龄的增加呈递增趋势, 与纤维长度的径向变异趋势相似。

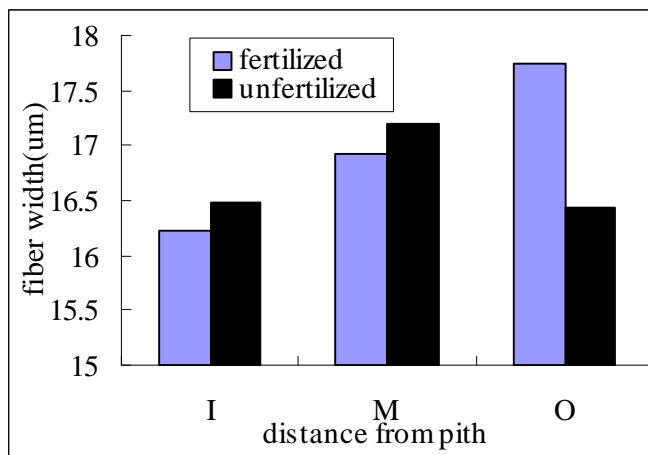


图2 施肥与未施肥条件下纤维宽度径向变异

Figure2. The radial variation patterns of fiber width in different fertilizations

经方差分析（表 3），施肥与未施肥两种处理条件下的纤维宽度变化均未达到显著水平；从髓心向外，内、中、外三部分的纤维宽度变异均达显著水平。

2.1.3 纤维长宽比

纤维长宽比与壁腔比对制浆造纸及纤维板的质量有较大的关系。木纤维愈长，长宽比愈大及壁腔比愈小，则愈适合造纸及纤维板的生产 [13]。本试验中，经过施肥处理的纤维长宽比小于未经施肥处理的（表 2）。经过施肥处理的杨树木纤维长宽比均值为 65.6，未施肥的为 71.7，比未施肥处理反而减小了 8.37%。由此可见，从长宽比这一角度看，施肥处理对木浆造纸及纤维板的质量有不利影响。

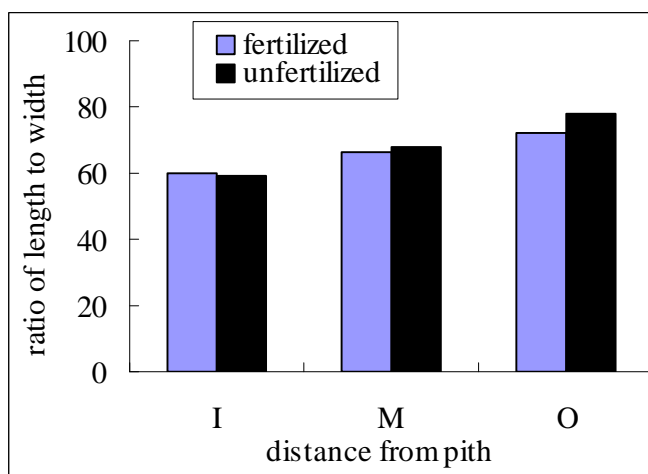


图3 施肥与未施肥条件下纤维长宽比径向变异

Figure3. The radial variation patterns of ratio of length to width in different fertilizations

图 3 为两种条件下纤维长宽比径向变异情况。其中，两种条件下的长宽比都是从髓心向外逐渐增加，与两种条件下的纤维长度径向变异趋势相一致，这是因为长宽比是由纤维长度和宽度共同作用的结果。纤维长度远大于其宽度，纤维宽度在径向变化没有长度径向变化明显，因此长宽比径向变异主要反映了纤维长度的径向变化，所以其变异趋势与纤维长度径向变异趋势相一致。

经方差分析（表 3），两种条件下的纤维长宽比变异均未达显著水平；纤维长宽比在径变的变异亦均未达到显著水平。

2.2 化学成分分析

木材是复杂的天然聚物质,其主要成分纤维素、木质素和半纤维素,不均匀的分布于木材细胞和胞间层中;其次要成分有抽出物和无机物等[14]。木材主要成分组成的变异直接影响着木材的物理力学性质。如纤维素含量的变异会影响木材的吸湿性,而多缩戊糖的含量会影响木材的润湿膨胀能力。在力学方面,由于半纤维素及木素作为加强剂,把木材细胞胶结在一起并巩固纤维素骨架,赋予木材所需要的弹性和抗压强度。因而木材中木素和半纤维素的含量变化能引起木材力学性质上的变化[15]。对同一树种、同一产地,不同施肥条件下的5株人工林I-69杨进行分析,以了解施肥和未施肥I-69杨心边材之间的化学成分的差异,分析结果见表4。

表4 施肥与未施肥I-69杨心边材木材化学成分(%)

Table4 The chemical composition of poplar's sapwood and heartwood in different fertilizations

| 施肥条件 | 部位 | 编号 | 水分 | 1%NaOH 抽提物 | 纤维素 | 苯醇抽 | 木素 | 聚戊糖 |
|------|----|--------|------|------------|-------|-------|-------|-------|
| | | | | | | 提物 | | |
| 施肥 | 边材 | 01-1-a | 9.16 | 26.42 | 38.83 | 2.26 | 16.65 | 26.90 |
| | | 01-2-a | 8.10 | 25.47 | 39.77 | 1.83 | 16.41 | 26.03 |
| | | 01-3-a | 8.89 | 24.17 | 41.75 | 1.72 | 12.85 | 25.71 |
| | | 平均值 | 8.72 | 25.35 | 40.11 | 1.94 | 15.30 | 26.21 |
| | | 标准偏差 | 0.45 | 0.92 | 1.22 | 0.23 | 1.74 | 0.50 |
| | | 变异系数% | 5.16 | 3.63 | 3.04 | 11.86 | 11.37 | 1.91 |
| | 心材 | 01-1-b | 9.91 | 26.15 | 38.81 | 1.86 | 17.15 | 21.39 |
| | | 01-2-b | 9.87 | 26.18 | 38.18 | 1.74 | 18.36 | 21.10 |
| | | 01-3-b | 9.00 | 24.20 | 41.3 | 1.50 | 17.10 | 21.56 |
| | | 平均值 | 9.59 | 25.51 | 39.43 | 1.70 | 17.54 | 21.35 |
| | | 标准偏差 | 0.42 | 0.93 | 1.35 | 0.15 | 0.58 | 0.19 |
| | | 变异系数% | 4.38 | 3.65 | 3.42 | 8.82 | 3.31 | 0.89 |
| 未施肥 | 边材 | 02-1-a | 7.88 | 25.11 | 40.77 | 2.06 | 18.61 | 26.62 |
| | | 02-2-a | 8.99 | 24.94 | 40.59 | 2.27 | 17.78 | 25.60 |
| | | 平均值 | 8.44 | 25.02 | 40.68 | 2.16 | 18.19 | 26.11 |
| | | 标准偏差 | 0.56 | 0.09 | 0.09 | 0.11 | 0.42 | 0.51 |
| | | 变异系数% | 6.64 | 0.36 | 0.22 | 5.09 | 2.31 | 1.95 |
| | 心材 | 02-1-b | 8.03 | 24.04 | 40.69 | 1.61 | 18.49 | 21.83 |
| | | 02-2-b | 7.27 | 23.57 | 41.31 | 2.21 | 18.62 | 23.17 |
| | | 平均值 | 7.65 | 23.80 | 41.00 | 1.91 | 18.55 | 22.50 |
| | | 标准偏差 | 0.38 | 0.24 | 0.31 | 0.30 | 0.07 | 0.67 |
| | | 变异系数% | 4.97 | 1.01 | 0.76 | 5.71 | 0.38 | 2.98 |

表4统计出施肥与未施肥I-69杨心边材木材化学成分的平均值、标准偏差和变异系数,从测定结果可见:施肥过的I-69杨边材苯醇抽提物和木素的变异系数明显偏大,说明施肥对I-69杨边材间的化学成分变异有很大影响;而未施肥的I-69杨边材化学成分变异不大,均小于10,尤其1%NaOH抽提物、纤维素、木素和聚戊糖的变异系数分别为0.36、0.22、2.31和1.95,这表明未施肥I-69杨边材间的化学成分变异影响不大。施肥和未施肥的I-69杨心材化学成分变异也均小于10,化学成分变异不大,这为木材加工利用,尤其是为制浆造纸生产提供了便利条件[16]。

对施肥和未施肥I-69杨边材和心材的抽提物进行研究,结果表明:未施肥I-69杨边材和心材的1%NaOH抽提物含量分别为25.02和23.80,苯醇抽提物分别为2.16和1.91,表明未施肥I-69杨

抽提物含量边材高于心材，这于 James Rolson 对幼龄材毛泡桐的抽提物的研究得出抽提物含量边材高于心材的结论正好相符；而对施肥 I-69 杨边材和心材的抽提物进行研究，边材和心材的 1%NaOH 抽提物含量分别为 25.35 和 25.51，苯醇抽提物分别为 1.94 和 1.70，可以看出施肥明显降低了 I-69 杨边材的 1%NaOH 抽提物含量，使 1%NaOH 抽提物含量心材高于边材，而苯醇抽提物含量仍然是边材高于心材。

对于施肥和未施肥 I-69 杨及心边材的各项化学成分之间的结果用“单因素方差分析”进行检查，分析结果见表 5。

表 5 施肥与未施肥 I-69 杨心边材各项化学成分之间的“单因素方差分析”结果

Table5 The variance analysis of poplar's chemical composition between sapwood and heartwood in different fertilizations

| 部位 | 水分 | 1%NaOH 抽提物 | 纤维素 | 苯醇抽提物 | 木素 | 聚戊糖 |
|-------------------|----|------------|-----|-------|----|-----|
| 施肥与未施肥 I-69 杨边材比较 | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| 施肥与未施肥 I-69 杨心材比较 | * | ns | ns | ns | ns | ns |
| 施肥 I-69 杨边材与心材比较 | ns | ns | ns | ns | ns | *** |
| 未施肥 I-69 杨边材与心材比较 | ns | * | ns | ns | ns | * |

注：ns:不显著；*：5%水平下显著；**：1%水平下显著；***：0.1%水平下显著

从表 4 和表 5 的分析结果可见：尽管施肥和未施肥 I-69 杨边材和心材之间木材的各项化学成分的单项之间存在差异，但如果对各项化学成分综合进行分析，则可发现：施肥和未施肥 I-69 杨边材比较各项成分之间差异不显著；施肥和未施肥 I-69 杨心材比较除水分含量之外，其余各项成分之间差异不显著；施肥 I-69 杨边材与心材比较除聚戊糖明显差异显著外，其余各项成分之间差异不显著；未施肥 I-69 杨边材与心材比较除 1%NaOH 抽提物和聚戊糖含量差异显著外，其余各项成分之间差异不显著。这为木材加工利用，尤其是为制浆造纸生产提供了便利条件。

3. 结论

3.1 纤维形态

(1) 施肥和未施肥的 I-69 杨木材纤维平均长度分别为 1.113mm 和 1.170mm；平均宽度分别为 16.96um 和 16.31um；平均长宽比分别为 65.6 和 71.7。存在一定差异，但纤维平均长度均在 1.11mm 以上，平均宽度均在 16.3um 以上，长宽比均大于 65。

(2) I-69 杨经施肥处理后纤维宽度大于未施肥处理的纤维宽度，但施肥处理的纤维长度和长宽比却小于未施肥处理的纤维长度和长宽比。

3.2 化学成分

(1) 施肥过的 I-69 杨边材苯醇抽提物和木素的变异系数明显偏大，说明施肥对 I-69 杨边材间的化学成分变异有很大影响，而对心材化学成分变异不大；未施肥的 I-69 杨边材和心材的化学成分变异都不大。

(2) 未施肥 I-69 杨 1%NaOH 抽提物和苯醇抽提物含量边材高于心材，而施肥明显降低了 I-69 杨边材的 1%NaOH 抽提物含量，使 1%NaOH 抽提物含量心材高于边材，而苯醇抽提物含量仍然是边材高于心材。

(3) 施肥和未施肥 I-69 杨边材比较各项成分之间差异不显著；施肥和未施肥 I-69 杨心材比较除水分含量之外，其余各项成分之间差异不显著；施肥 I-69 杨边材与心材比较除聚戊糖明显差异显著外，其余各项成分之间差异不显著；未施肥 I-69 杨边材与心材比较除 1%NaOH 抽提物和聚戊糖含量差异

显著外, 其余各项成分之间差异不显著。

参考文献

- 1 中国林科院林研所. 杨树, 中国林业出版社, 1958
- 2 王世绩主编. 杨树研究进展, 北京: 中国林业出版社, 1995
- 3 Zeble B J, van Buijteen J P. Wood Variation Its Causes and Control. Springer-Verlag, 1989
- 4 王鹏、徐永吉、张耀丽, I-69杨不同种植密度与年轮宽度、纤维形态和PH值关系的研究, 世界林业研究, 1995 Vol.8 专集, 355-360.
- 5 徐永吉、李大纲、张耀丽, 间伐强度对北京年轮宽度、基本密度、纤维形态和PH值影响的研究, 南京林业大学学报, 1995
- 6 姚充裕等. 世界木材制浆造纸工业技术发展趋势. 世界林业研究, 1993(6)17—22
- 7 姜岳忠、王桂岩、吕雷昌、袁素萍, 杨树纸浆林品种选择研究, 山东林业科技, 2001年第2期
- 8 刘盛全、江泽慧等. 不同种群白桦纤维形态特征变异及优良种群选择. 世界林业研究, 1995 Vol.8 专集, 274-278.
- 9 蔡少松. 广东阔叶树材造纸的研究, 林业科学, 1979, 15(3)
- 10 方长华. 施肥与未施肥条件下 I-69 杨材性的比较研究. 安徽农业大学优秀毕业论文汇编. 2001.7, 113-121.
- 11 李忠正等. 意大利杨纤维形态和化学组成的研究, 南京林产工业学院学报, 1982, 3
- 12 罗建举等. 施肥处理对尾叶桉材性影响规律的研究, 世界林业研究, 1995:336-343
- 13 北京林业大学主编. 森林利用学, 中国林业出版社, 1985.
- 14 黄洛华、秦特夫. 人工林日本落叶松幼林材与成熟材化学组成的研究. 世界林业研究, 1995 Vol.8 专集, 100-103.
- 15 成俊卿, 木材学, 中国林业出版社, 1985
- 16 陆熙娴, 人工林兰考泡桐幼龄材与成熟材化学组成与化学性质比较的研究, 世界林业研究, 1994 Vol.7 专集