

I-69杨湿心材发生、分布及材性的研究*

姜笑梅 张立非 徐邦兴 郑世锺

摘要 在湖北省嘉鱼县潘家湾,不同生长条件和不同方式种植的I-69杨活立木及原木都有不同程度的湿心材存在。湿心材的比例与土壤水分含量有关,与种植方式和树木生长速度无关。湿心材的存在和变色由细菌活动引起,已分离和鉴定出5种病原菌(*Erwinia carotovora* Subsp. *carotovora*, *E. rhapsontioi* (Millard) Burkhold, *E. chrysanthemi* Burkholder, *Bacillus cereus* Frankland, *B. sphaericus* Neide)。电镜观察和材性分析表明,正常材中细菌很少,纹孔膜保存完好,而湿心材的导管—射线间纹孔和管间纹孔膜几乎都被破坏。与正常材相比,湿心材的pH和酸缓冲容量高,抽提物和灰分含量较高,综纤维素和 α -纤维素含量略低。湿心材的密度、干缩系数及力学性质都比正常材低,差异极显著。建议进一步研究如何防止细菌的侵入和活动,阻止湿心材和变色材的发生。

关键词 杨树、湿心材、材性、变色、细菌

杨树是短周期工业用材的重要树种之一。在湖北嘉鱼地区种植约1万hm²,主要以I-69杨(*Populus deltoides* Bartr cv. "Lux" ex I-69/55)和I-72杨(*P. euramericana* cv. "San Martino" ex I-72/58)为主。因其速生丰产,杨木已成为该县胶合板厂的主要原料。但由于杨木“红心”或“黑心”现象严重,给胶合板等木材利用带来影响。为解决这个问题,对嘉鱼县杨树的“红心材”或“黑心材”的发生、分布规律进行了调查研究,对其材性进行了测定,并对形成的原因做了初步探讨,国外学者^[1~5]对杨树、榆树和冷杉等木材的变色及其原因进行过一些研究,他们认为靠近髓部位高含水率的变色部分为湿心材、湿材或变色材。本文采用湿心材一词,作者认为似比“红心材”、“黑心材”更为确切。Passials等^[2]对冷杉的湿心材做过材性研究,但还未见到对杨树湿心材材性的报道。

1 试材和试验方法

在湖北省嘉鱼县潘家湾调查了不同生长条件(片林、沟渠旁、农田林网、公路旁)、两种无性系(I-69杨和I-72杨)、不同种植方式(带根、截根)的杨树湿心材的发育程度。采用小试样(树芯),每种调查随机选3株(树龄为10a)立木。在树高1.3m处的北向用5mm直径的生长锥取样。在砍伐现场和嘉鱼县胶合板厂的贮木场进行湿心材在株内不同高度分布的调查,共观测80根原木。

1993-04-29收稿。

姜笑梅副研究员,张立非(中国林业科学研究院木材工业研究所 北京 100091),徐邦兴(湖北省嘉鱼县林业局),郑世锺(中国林业科学研究院林业研究所)。

*本文系世界银行贷款,国家造林项目的材性专题部分内容。试材采集和调查工作得到湖北省嘉鱼县林业局、县人造板厂的支持帮助,特此致谢。

在嘉鱼县取 3 株杨木, 做材性测定。湿心材为近髓心、色深的部分; 正常材为近树皮、未变色部分。用光镜和扫描、透射电镜观察湿心材构造的变化和细菌存在。根据国家标准“造纸工业测试方法”(GB 2677-2-81-10-81)进行化学成分分析。用 SZ- Σ 80 色差仪对干燥后的湿心和正常材单板测色。参照国家标准“木材物理力学性质试验方法”(GB-1927-1943-80)进行物理力学试验。用消毒过的生长锥取活立木的树芯, 将湿心和正常边材分开, 并把流出的树汁分别装入消毒的试管内。由中国科学院微生物所进行病原分离鉴定。

2 结果与分析

2.1 湿心材的发生和分布

所观察的杨木, 无论立木还是原木都有湿心材存在。刚取出的树芯, 近髓心第 1~5 生长轮, 浅黄褐色, 为树汁渍透, 有难闻气味的这部分为湿心材; 近树皮部分(第 6~10 生长轮)白色或浅黄色, 较干燥的为正常边材。生长锥从树中取出时, 有淡黄色透明的液体流出。同时还伴有气泡从生长锥造成的树孔中冒出, 树汁有恶臭, pH 为 7.5~8.0。收集的树汁和湿心材在空气中放置数小时后颜色变深, 为浅褐色和褐色。上述结果与 Schink^[1] 的报道相近, 说明 I-69 杨、I-72 杨具典型的湿心材的特征。Schink 等^[1]还对所产生的气体进行分析, 主要有甲烷、氮气和二氧化碳, 认为由于细菌的新陈代谢引起醋酸酯、脂肪酸和酒精的发酵, 产生气体。

湿心材最主要的特征是生材含水率极高。本实验按生长轮测定三株试材的生材含水率, 从髓心向外有降低的趋势(表 1)。湿心材和正常材的生材含水率分别为 147.7% 和 64.4%。在健康的树木中, 在心材形成时期脱水, 含水率低, 但湿心材的水分从边材移动而来, Schink^[1]认为这种移动是由于细菌活动引起的。

表 1 I-69 杨的生材含水率

| 生长轮数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 湿心材 (1~5 轮) | 正常材 (6~10 轮) |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|----------------|-----------------|
| 生材含水率平均值(%) | 204.7 | 131.9 | 132.5 | 141.2 | 128.3 | 79.1 | 76.9 | 44.6 | 55.3 | 49.8 | 147.7 | 64.4 |
| 标准差 | 17.3 | 22.9 | 9.6 | 17.4 | 33.4 | 27.1 | 38.1 | 12.5 | 10.2 | 12.6 | 14.3 | 34.4 |

湿心材在株内从基部向上所占比例逐渐减小, 到顶端湿心材不存在(图 1)。有的学者^[4]认为生长快的树木比生长慢树木含更多的湿心材, 但在本实验中, 数理统计的结果表明, 湿心材与树木生长速度无明显相关。

国外学者^[4]报道有的杨树湿心材存在于 2 年生实生苗中。试验观察了苗圃 1 年生和 2 年生的树苗, 无论扦插还是萌生的均无湿心材发育。嘉鱼地区的 I-69 杨和 I-72 杨, 在 4~5 a 时开始形成湿心材。表 2 比较了不同生长条件下湿心材的发生程度, 沟渠旁生长的树木中, 含湿心材比率最高, 公路旁的湿心材比率最低, 这可能与土壤水分有关。从表 2 中看出带根和截根种植的树木中湿心材所占比例相近, 说明截根种植方式并未加剧湿心材的发育。Garrett 等^[4]比较了杨树 6 个杂交无性系湿心材直径, 其变异范围为 85%~55.8%。而我们比较了 I-69 杨、I-72 杨湿心材所占比率分别为 53.3% 和 55.6%, 无明显差异。

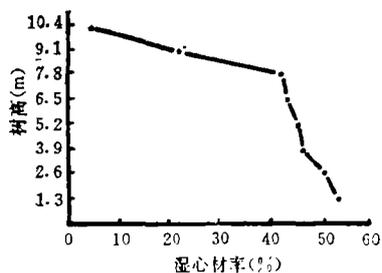


图1 树高与湿心材百分率的关系

表2 不同生长条件下的湿心材直径所占百分率和树汁pH值

| 不同生长条件 | 片林 | | 沟渠旁 | 农田林网 | 公路旁 |
|--------|------|------|------|------|------|
| | 带根种植 | 截根种植 | | | |
| 湿心材(%) | 59.8 | 58.9 | 67.7 | 54.9 | 49.2 |
| 树汁pH值 | 8 | 7.5 | 7.5 | 7.8 | 7.8 |

2.2 湿心材和正常材材性的比较

2.2.1 构造 用光镜和电镜观察了从髓心向外每个生长轮的木材构造。在湿心材中特别是靠近髓心的第1、2生长轮内导管内壁有许多细菌存在(图版I-1, 2), 导管—射线间纹孔和导管间具缘纹孔的纹孔膜几乎全被不同程度降解, 细菌利用它所分泌的粘液紧贴在纹孔膜上, 并产生果胶酶使纹孔膜分解破坏(图版I-3, 4)。在细菌集中的区域导管内壁也有轻微的腐蚀(图版I-3)。在湿心材与正常材过渡区域, 一些纹孔被细菌的粘液所覆盖(图版I-5)。而在正常材的边材很少细菌存在, 纹孔膜保存完好(图版I-6)。国外学者^[4,6]认为湿心材与细菌同时出现。Schoik^[1]和Bauch^[6]等都发现在湿心材中有大量($10^6 \sim 10^7$ cells/g)细菌, 而正常边材中只有少量($0 \sim 10^4$ cells/g)。本观察虽未计数, 但定性结果与上述符合。本观察中没有发现其他菌丝存在, 说明细菌与湿心材的存在密切相关。

2.2.2 颜色 把嘉鱼人造板厂湿心材和正常材单板(干燥后)测色的结果列入表3。从 L^* 、 a^* 、 b^* 值看出, 湿心材比正常材单板的亮度小, 颜色深, 略偏红。用颜色不均匀的单板做表板, 形成美学上的缺陷, 使胶合板质量降低。

表3 湿心材和正常材测色结果

| 试材 | 湿心材 | | | | 正常材 | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| L^* | 71.19 | 71.85 | 72.54 | 73.33 | 82.06 | 79.77 | 84.50 | 82.28 |
| a^* | 5.43 | 4.60 | 5.30 | 5.75 | 0.64 | 3.09 | -0.90 | 1.58 |
| b^* | 20.73 | 19.85 | 21.61 | 20.68 | 19.12 | 21.36 | 18.13 | 21.03 |

注: L^* : 明度; a^* : 红; b^* : 黄。

2.2.3 化学性质和化学成分 表4表明, 湿心材与正常材相比, pH和酸缓冲容量较高, 抽提物和灰分含量较高; 综纤维素和 α -纤维素含量略低, 木素含量没有什么差别。

2.2.4 物理力学性质 湿心材的密度、干缩系数与力学性质都比正常材低(表5)。方差分析结果表明, 湿心材和正常材除了径向干缩系数差异不显著外, 其余的密度、弦向干缩系数、顺纹抗压强度、抗弯强度、抗弯弹性模量差异均达极显著水平。

综上所述, 湿心材和正常材的材性有较大的差异, 必然会影响到它的加工利用, 特别在干燥和制造胶合板、造纸等方面, 应根据湿心材和正常材的材性特点分别对待。

2.3 湿心材和树汁中细菌的分离和鉴定

为了研究湿心材的形成原因, 将活立木的湿心材、正常材和树汁经中国科学院微生物所培养、分离鉴定。从湿心材和树汁中共得10株细菌, 其中5株革兰氏阴性杆菌都是欧文氏菌‘

表 4 湿心材与正常材化学性质和化学成分比较

| 化学性质和化学成份 | 湿 心 材 | | | | 正 常 材 | | | |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 平均值 | 1 | 2 | 3 | 平均值 |
| pH 值 | 6.21 | 6.24 | 6.48 | 6.31 | 5.74 | 5.85 | 5.88 | 5.82 |
| 酸缓冲容量($\text{mcq} \times 10^2$) | 9.85 | 9.20 | 8.65 | 9.23 | 1.75 | 2.20 | 1.70 | 1.88 |
| 碱缓冲容量($\text{mcq} \times 10^2$) | 0.38 | 0.36 | 0.25 | 0.33 | 0.60 | 0.95 | 0.60 | 0.72 |
| 水分(%) | 8.08 | 7.70 | 7.41 | 7.73 | 7.10 | 8.07 | 7.24 | 7.47 |
| 灰分(%) | 1.31 | 1.13 | 1.16 | 1.20 | 0.40 | 0.51 | 0.41 | 0.44 |
| 抽 冷 水 | 2.06 | 2.80 | 2.34 | 2.40 | 1.68 | 1.47 | 1.41 | 1.52 |
| 提 热 水 | 3.03 | 3.68 | 3.10 | 3.27 | 2.52 | 2.03 | 2.47 | 2.34 |
| 物 1%NaOH | 16.84 | 15.04 | 16.25 | 16.04 | 14.54 | 16.10 | 16.27 | 15.64 |
| (%) 苯-乙醇 | 1.31 | 1.06 | 1.30 | 1.22 | 1.38 | 1.29 | 1.36 | 1.34 |
| 木素(%) | 19.01 | 18.88 | 21.81 | 19.90 | 19.79 | 18.53 | 21.48 | 19.93 |
| 综纤维素(%) | 78.77 | 80.84 | 79.96 | 79.86 | 81.59 | 81.98 | 80.64 | 81.37 |
| α -纤维素(%) | 41.08 | 42.13 | 43.68 | 42.30 | 46.25 | 46.32 | 45.37 | 45.98 |
| 戊糖(%) | 29.79 | 27.15 | 24.99 | 27.31 | 23.08 | 26.64 | 23.43 | 24.38 |

表 5 湿心材与正常材物理力学性质比较

| 物理力学性质 | 湿 心 材 | | | | | | 正 常 材 | | | | | |
|------------------------------|-------|-------|-------|--------|---------|---------|-------|-------|-------|--------|---------|---------|
| | 试样数 | 均值 | 标准差 | 标准误差 | 变异系数(%) | 准确指数(%) | 试样数 | 均值 | 标准差 | 标准误差 | 变异系数(%) | 准确指数(%) |
| 密度(g/cm^3) | 23 | 0.418 | 0.017 | 0.0035 | 4.07 | 0.85 | 23 | 0.433 | 0.018 | 0.0039 | 4.27 | 0.89 |
| 干缩系数 径向 | 23 | 0.130 | 0.011 | 0.0023 | 8.49 | 1.77 | 23 | 0.136 | 0.010 | 0.0020 | 7.03 | 1.47 |
| (%) 弦向 | 23 | 0.250 | 0.015 | 0.0031 | 6.04 | 1.26 | 23 | 0.262 | 0.013 | 0.0028 | 5.07 | 1.06 |
| 顺纹抗压强度(MPa) | 24 | 26.5 | 2.00 | 0.408 | 7.53 | 1.54 | 24 | 31.3 | 2.71 | 0.553 | 8.65 | 1.77 |
| 抗弯强度(MPa) | 24 | 61.1 | 8.05 | 1.643 | 13.17 | 2.69 | 24 | 71.3 | 5.65 | 1.152 | 7.92 | 1.62 |
| 抗弯弹性模量(GPa) | 24 | 6.28 | 1.62 | 0.330 | 25.76 | 5.26 | 24 | 7.79 | 1.08 | 0.221 | 13.86 | 2.84 |

另 5 株是芽孢杆菌。国外学者^[4]报道,在黑杨(*Populus nigra* L.)分离出细菌为欧文氏菌(*Erwinia Winslow*)未涉及种。本研究结果与国外的结果相近,而且鉴定到种。2 株为胡萝卜亚种(*Erwinia carotovora* subsp. *carotovora*), 2 株为大黄欧文氏菌(*E. rhapontici* (Millard) Burkholder)、1 株为菊欧文氏菌(*E. chrysanthemi* Burkholder)、4 株为腊状芽孢杆菌(*Bacillus cereus* Frankland)、1 株为球形芽孢杆菌(*B. sphaericus* Neide)。欧文氏菌和腊状芽孢杆菌为兼性厌氧细菌,球形芽孢杆菌为好氧细菌,它们的形态和生理生化特征见表 6。

3 湿心材形成原因的探讨

由于湿心材总和细菌同时存在,国外一些研究^[1-4,7,8]认为湿心材是由细菌的活动引起的。Carter^[4]从榆树湿心材中分离出欧文氏菌,并在健康树上回接,使树木水分含量增加。Schink^[1]研究了杨树(*Populus deltoides* Bartr)、榆树(*Ulmus americana* L.)、冷杉(*Abies alba* Mill.)、云杉(*Picea* spp.)、栎木(*Quercus* spp.)、铁杉(*Tsuga* spp.)等木材的湿心材形成与好氧、兼性厌氧细菌群落有关,并将湿心材分成两种类型,一种是碱性和弱碱性的,一种

表6 湿心材和树汁中细菌的形态和生理生化特征

| 细菌名称 | 分离来源 | 个体形态 | | 生理生化特征 | | | | | | | | | | | | |
|---------------|-----------|------------------------------|-------------------|-----------|-----|------------|----|-----|----|------------------|-----|-------------|-------------------------|-----------------|---|---|
| | | 营养体 (μm) | 鞭毛 芽孢与孢囊 | 鞭毛 接触酶 | 氧化酶 | 葡萄糖 O/F | 明胶 | V-P | 吲哚 | H ₂ S | 脲酶 | 苯丙氨酸 脱氨酶 | HNO ₃ 盐还原 | 7% 淀粉 NaCl 粉 | | |
| 欧文氏菌 胡萝卜亚种 | 树汁 湿心材 | 杆状, 短杆近球形 0.3~0.5× 0.7 | | 周生 | + | - | FX | +++ | + | - | ++ | - | - | + | | |
| 菊欧文氏菌 | 树汁 湿心材 | 短杆菌 0.5× 0.7 | | 周生 | + | - | FX | + | + | ++ | ++ | - | - | + | | |
| 大黄欧文氏菌 | 树汁 湿心材 | 杆状 0.3~0.4 ×0.4~0.5 | | 周生 | + | - | FX | - | -+ | -++ | +++ | -+W | - | + | | |
| 腊状芽孢杆菌 | 树汁 | 杆状 1.0~1.2 ×3.5~4.5 | 芽孢中生 孢囊不膨大 | | + | -+ | FW | | + | | | | + | + | - | + |
| 球形芽孢杆菌 | 树汁 | 杆状 | 有端生芽孢 球形, 孢囊膨大 | | + | + | △ | | - | | | | - | + | - | - |

注：“+”为阳性，“+W”为弱阳性，“-”为阴性，“F”为发酵产酸，“X”为产气，“△”为产碱，“PHB”为胞内碳源的贮藏形式，“V-P”为乙酰甲基甲醇。

是酸性的。本研究表明 I-69 杨和 I-72 杨湿心材属第一种，在活树中，由于水分过多，造成缺氧环境，这些厌氧和兼性厌氧细菌的混合群落，在发酵过程中产气产酸或产碱(表6)，使果胶、淀粉和一些半纤维素与单一木糖降解。有的细菌还产生果胶酶使纹孔膜破坏(图版 I-3,4)。由于这些细菌的新陈代谢活动，使湿心材的构造、化学、物理力学性质发生了变化(表4、5)，影响其加工利用。在湿心材形成时，木材细胞分泌酚类化合物，以抵抗细菌的侵入，木材的变色在活树的茎部已经发生，在砍伐以后遇到空气后颜色变深。Schink 等^[1]认为在碱性条件下的湿心材比酸性条件下变色发展更快。湿心材还伴有木材变色^[1,2,7~9]。Bauch 等^[7]阐述了木材变色的原因，一种是树木的生理作用引起的，一种是细菌作用和化学变化引起的，不同树种的变色原因不一样，但变色的先决条件是温度和含水率的变化以及细菌和微生物的作用。本实验结果表明杨树湿心材含水率特高，并有大量细菌存在，I-69 杨和 I-72 杨的变色原因属上述的第二种。总之，作者认为湿心材的存在和变色是由细菌活动引起的。从湿心材和树汁中鉴定出有3种欧文氏菌和2种芽孢杆菌(表6)，但究竟那种是病原菌还需进行回接实验证明。Passialis^[2]和 Shortle^[9]认为湿心材一般有木材早期腐朽的发生，在本研究中未见其它菌丝存在，尽管湿心材比正常材的强度有所降低，早期腐朽是很难判断的。

作者调查了湿心材的发生和分布规律，结果表明在所观察的活树和原木中都有湿心材存在。在沟渠边生长的杨树湿心材比例大，与土壤水分有关，但与种植方式无关，截根种植未加剧湿心材的发生，一些学者^[1,2,7]认为细菌从树的创伤和裂缝处感染，但细菌究竟如何进入树木，如何防止细菌的活动，阻止湿心材和变色材的发生，有待进一步研究。

参 考 文 献

- 1 Schink B, Word J C. Microaerobic and anaerobic bacterial activities involved in formation of wetwood and discoloured wood. IAWA, 1984, 5(2): 105~109.
- 2 Passialis C, Tsoumis G. Characteristics of discoloured and wetwood in fir. IAWA, 1984, 5(2): 111~120.
- 3 Gudrun T J Bauch, Bock E. Occurrence and significance of bacteria in living trees of *Populus nigra* L. Eur. J. For Path. 1977, 7, 364~374.
- 4 Garrett P W, Shigo A L, Garter J. Variation in diameter of central column of discoloration in six hybrid poplar clones. Canad. J. For. Res. 1976, 6, 475~477.
- 5 Knutson D M. The bacteria in sapwood, wetwood and heartwood of trembling aspen (*Populus tremuloides*). Can. J. Bot., 1973, 51, 498~500.
- 6 Bauch J, Schmidt O, Yazaki Y, Starck M. Significance of bacteria in the discoloration of Ilomba Wood (*Pycnanthus angolensis* Exell). Holzforschung, 1985, 39(5): 249~252.
- 7 Bauch J. Discolouration in the wood of living and cut trees. IAWA, 1984, 5(2): 92~98.
- 8 Tsoumis G. Science and technology of wood-structure, properties, utilization. New York: Van nostrand reinhold, 1991.
- 9 Shortle W C. Biochemical mechanisms of discolouration decay, and comparmen talisation of decay in trees. IAWA, 1984, 5(2): 100~104.

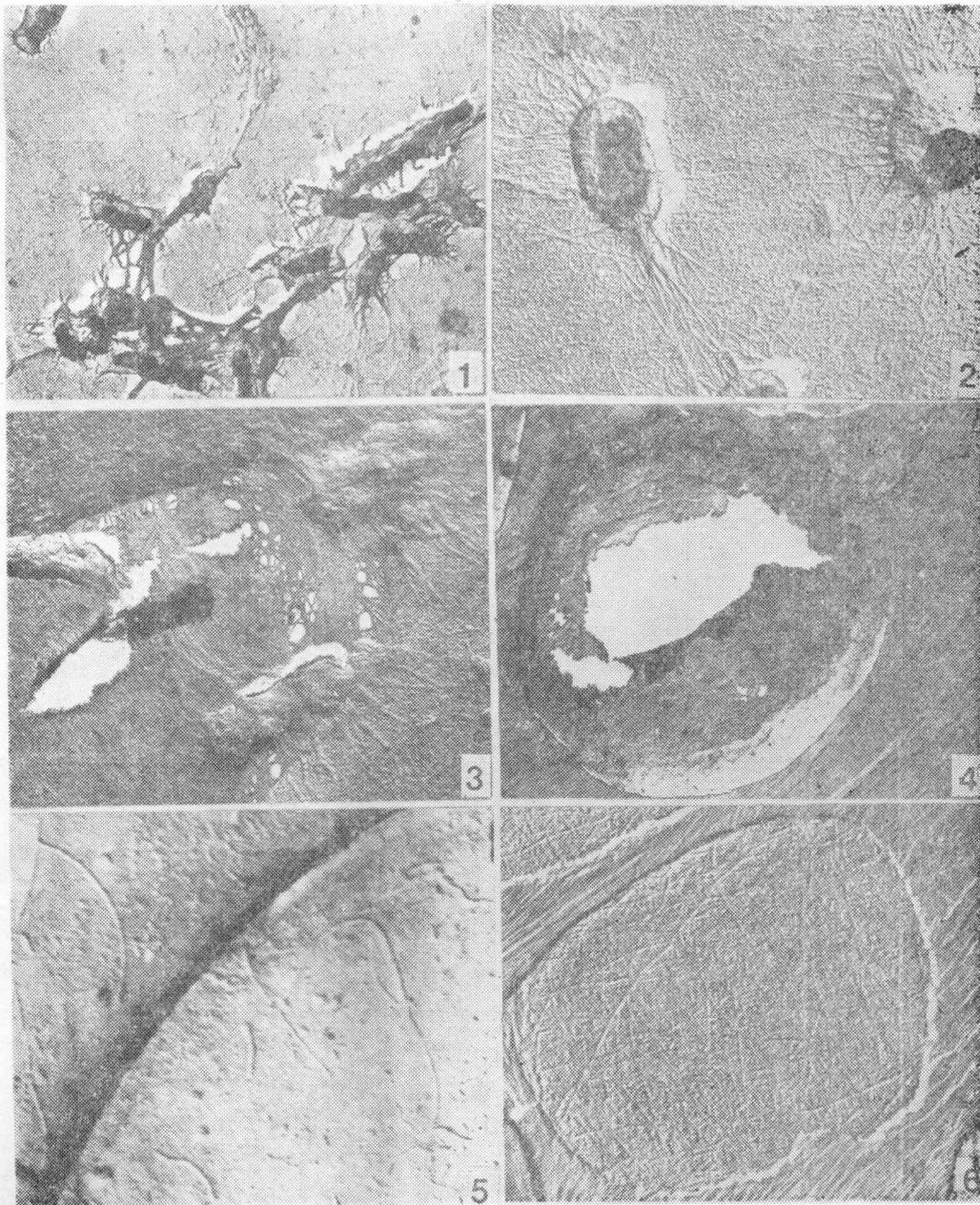
*Studies on the Occurrence, Distribution and Wood Properties
of Wetheartwood in Populus deltoides I-69*

Jiang Xiaomei Zhang Lifei Xu Bangxing Zheng Shikai

Abstract Wetheartwood can be observed more or less in all living trees or logs of *Populus deltoides* I-69, in their various growth stages no matter how they planted; in Panjiawan, Jiayu County, Hubei Province. The percentage of wetheartwood of a tree is relevant to the water content of soil, but not to the planting method or the growth rate of the tree. The occurrence and discolouration of wetheartwood may be caused by bacteria activity. Five species of bacteria (*Erwinia carotovora* subsp. *carotovora*, *E. rhapsodii* (Millard) Burkholder, *E. chrysanthemi* Burkholder, *Bacillus cereus* Frankland, *B. sphaericus* Neidehave) have been isolated and identified. Observation of electron microscopy and the wood properties analysis indicated that the pit membranes of vessel-ray pits and the intervessel pits in wetheartwood were almost destroyed by bacteria. Comparing with the normal wood, the pH and acid buffering capacity, the content of extractives and ash are all higher, but the content of holo-cellulose and α -cellulose are a little lower. Besides, the specific gravity, shrinkage and mechanical properties of wetheartwood are lower than those of normal wood. It is suggested that the approach of preventing the occurrence of wetheartwood should be further studied.

Key words poplar, wetheartwood, wood properties, discolouration, bacteria

Jiang Xiaomei, Associate Professor, Zhang Lifei (Institute of Wood Industry, CAF Beijing 100091); Xiu Bangxing (Forestry Bureau of Jiayu County, Hubei Province); Zheng Shikai (The Research Institute of Forestry, CAF).



1.导管内壁细菌, 1 000×, 2.示具周生鞭毛的细菌, 22 000×, 3.导管—射线间纹孔膜和部分内壁在细菌作用下开始降解, 1 700×, 4.导管—射线间纹孔膜破坏, 8 000×, 5.导管—射线间纹孔膜上细菌的粘液, 22 000×, 6.导管—射线间纹孔膜完好, 8 000×。
〔全版照片均为I-69杨树。1~4.湿心材(从髓心起第2生长轮), 5.湿心—正常材过渡(第6生长轮), 6.正常材(第9生长轮)〕。