

# 不同浓度乙烯利对降香黄檀心材和精油成分的影响

王玥琳, 徐大平\*, 杨曾奖, 刘小金, 洪舟, 张宁南

(中国林业科学研究院热带林业研究所, 广东 广州 510520)

**摘要:** [目的] 为了解不同浓度乙烯利对降香黄檀心材形成和精油成分的影响。 [方法] 以胸径 6~8 cm 降香黄檀为研究对象, 采用树干注射的方法, 研究不同乙烯利浓度 (CK、0.1%、0.5%、2.5%) 对降香黄檀淀粉和可溶性糖、基本材性、组织化学、精油成分的影响。 [结果] 表明: 不同浓度乙烯利处理边材和变色边材的可溶性糖含量差异明显, 变色边材的含糖量均明显低于边材; 各处理边材的淀粉含量均显著高于 CK, 0.5% 处理的变色边材中的淀粉含量最高, 且显著高于其他处理。0.5% 处理的生材密度最大, 为  $1.036 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ; 绝对含水率、相对含水率均为 2.5% 处理的最高; 不同浓度乙烯利处理显著提高了变色边材的百分比和变色边材形成率。组织化学结果显示, 各处理边材中均含有大量淀粉, 变色边材中基本没有; 变色边材中观测到大量脂类、酸性脂类和酚醛类物质, 而未在边材中出现。变色边材出油率随乙烯利浓度的增加逐渐升高, 0.1%、0.5%、2.5% 分别比 CK 增加了 52.28%、121.54%、128.54%。在检测到的 12 种共有心材成分中最主要的为橙花叔醇, 各处理的橙花叔醇含量顺序为: CK > 0.1% > 2.5% > 0.5%; 甜没药萜醇 A 含量最高的为 2.5%, 比 CK 升高了 36.59%;  $\alpha$ -金合欢烯和紫檀素均为 0.1% 处理的含量最高。 [结论] 综合分析各乙烯利处理对降香黄檀可溶性糖、基本材性、组织化学、精油成分和含量的影响, 2.5% 处理更有利于促进降香黄檀心材的形成。

**关键词:** 降香黄檀; 心材; 精油成分; 乙烯利; 组织化学

**中图分类号:** S718.43

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-1498(2019)03-0056-09

降香黄檀 (*Dalbergia odorifera* T. Chen) 又名海南黄花梨, 属蝶形花科 (*Papilionaceae*) 黄檀属 (*Dalbergia* Linn. f.), 国家二级保护植物<sup>[1]</sup>。其心材纹理致密、花纹美观、坚固耐腐, 是高档家具、工艺用品的上等用材<sup>[2]</sup>; 同时, 心材含有的芳香油也是重要的定香剂, 且具极高的药用价值<sup>[3]</sup>。近年来, 由于市场需求量的不断增加和不合理采伐, 致使降香黄檀成年植株几乎砍伐殆尽, 虽然现已在我国华南地区大面积种植, 但大部分还处幼龄阶段<sup>[4-5]</sup>。研究表明, 要实现木材高效、充分、合理的利用和林木定向培育, 必须以木材科学为研究基础<sup>[6]</sup>。

根据国际木材解剖家协会 (IAWA) 对心材和边材的定义<sup>[7]</sup>: 活立木中的心材为位于树木中心不含活性细胞的部分, 其中, 细胞的贮藏物质已消除, 或

者被转换成了抽提物; 边材为含有活细胞、淀粉、油脂等贮藏物质的部分。降香黄檀心材在自然条件下形成非常缓慢, 一般在树龄 6~8 a 开始<sup>[8]</sup>。因此, 近年来, 许多学者在人工促进心材方面进行了相关研究。贾瑞丰<sup>[8]</sup>采用控制水分、注射生长调节剂和真菌均能促进降香黄檀心材的形成。崔之益<sup>[9]</sup>研究发现, 乙烯利能诱导合成含量最多、心材物质最全、品质最接近自然心材的人工心材。周双清等<sup>[10]</sup>研究表明, 采用乙烯利诱导形成的心材, 在挥发油中, 橙花叔醇含量最高, 达 39.06%。

Ziegler<sup>[11]</sup>认为, 心材形成是激素调控的结果。心材形成是一种衰老过程, 因此, 对树木衰老有调控作用的激素均有可能是心材形成的诱导因子。乙烯与心材物质合成、相关酶活性密切相关<sup>[12]</sup>。已有的

收稿日期: 2018-12-13 修回日期: 2019-01-16

基金项目: 广东省林业科技创新专项资金项目 (2016KJCX009); 国家十三五重点研发专项 (2016YFD0600601); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (RITFYWZX201407)

\* 通讯作者: 徐大平, 博士, 研究员。研究方向: 珍贵树种培育。E-mail: gzfsrd@163.com

研究结果均表明,乙烯利诱导心材形成效果普遍较好,但各研究均未设置浓度差异。为了解不同浓度乙烯利对心材形成和精油成分的影响,本试验在前人研究的基础上使用4种乙烯利浓度注射到幼龄降香黄檀树体,通过分析不同浓度乙烯利对降香黄檀心材基本材性、糖、淀粉、组织化学及精油成分的影响,拟筛选出最适乙烯利浓度,为降香黄檀高效培育提供理论基础,也为其他树种开展人工心材培育技术研究提供借鉴。

## 1 研究区概况

肇庆市林科所位于肇庆市高要区,地处广东省中部、西江中下游(112°11'~112°50' E、22°47'~23°26' N)。高要地势以丘陵和山地为主,自西向东南方向倾斜,属亚热带季风气候,年平均降水量1 647.8 mm,年平均气温22℃,年平均日照时数1 801.6 h;土壤是由花岗岩发育而来的赤红壤;试验地内降香黄檀均为2011年种植,种植密度为3 m×3 m。

## 2 研究方法

### 2.1 试验方法

试验于2017年6月在肇庆市林科所选取胸径6~8 cm、树势均匀一致的降香黄檀,设4个处理,每处理6棵,单株小区,共24棵树,经每木检尺。用6.5 mm电钻于树干距地面0.3 m与1.3 m处钻孔后,用2 mL注射器分别将质量分数为0.1%、0.5%、2.5%的乙烯利(ETH)溶液注入树体上、下钻孔内各50 mL,对照(CK)注射蒸馏水,注射完后用胶带密封伤口。

### 2.2 心材取样方法

心材取样在贾瑞丰<sup>[8]</sup>、崔之益<sup>[9]</sup>的研究基础上进行改进。2018年11月初,所有试验木在树干南北向用外径1.0 cm,内径0.5 cm的生长锥于0.3、1.0 m处钻取木芯,每处理10根,分别编号,装于密封袋中,使用干冰保温带回,储存于4℃冰箱中。

### 2.3 淀粉、可溶性糖含量测定

淀粉、可溶性糖含量参照刘红艳等<sup>[13]</sup>的方法,采用硫酸-蒽酮法测定。

### 2.4 基本材性计算

将带回的木芯样品,使用游标卡尺测定直径、长度、饱和长度,分析天平测定鲜质量、65℃烘干后的质量,排水法测定体积。计算公式如下:

$$\text{相对含水率} = \text{水分质量} / \text{生材质量} \times 100\%$$

$$\text{绝对含水率} = \text{水分质量} / \text{干材质量} \times 100\%$$

$$\text{基本密度} = \text{全干材质量} / \text{生材体积}$$

$$\text{生材密度} = \text{生材质量} / \text{生材体积}$$

$$\text{变色边材形成率} = \text{有变色边材株数} / \text{总株数} \times 100\%$$

$$\text{变色边材比例} = \text{变色长度} / \text{木芯总长度}$$

$$\text{出油率} = \text{精油质量} / \text{样品质量} \times 100\%$$

## 2.5 组织化学观测

将木芯样品浸泡于FAA固定液中15~24 h,使用滑动切片机(Leica RM2255, Germany)将木芯边材和心材分别制作12~15 μm的横、纵向切片。分别用苏丹红Ⅲ(Sudan III)、硫酸纳尔兰(Nile blue)、碘-碘化钾、苏丹黑B(Sudan Black B)及三氯化铁(Ferric Chloride)对脂类、淀粉、酚醛类进行染色<sup>[9]</sup>。封片后,用光学显微镜(Olympus BX51, Japan)观察组织化学变化,同时用搭配的高清数码相机(Pixera Pro 600ES, USA)拍照。

## 2.6 精油成分测定

将烘干后的木芯样品磨碎,分别称取1 g边材和心材样品,采用石油醚浸渍法<sup>[8]</sup>提取精油。使用型号为6890N-5975 I的安捷伦气质联用仪(GC-MS, USA)(由华南农业大学测试中心提供)测定精油成分。仪器主要工作参数:色谱柱HP-5MS(30 m×0.25 mm×0.25 μm);程序升温,初始温度70℃(1 min),以8℃·min<sup>-1</sup>上升至250℃,持续15 min,进样口温度为250℃,取0.5 μL样品上机检测;离子源EI70eV,温度230℃;采集质量范围为35~45 amu;载气高纯He流速为1.0 mL·min<sup>-1</sup>;接口温度为280℃。通过NIST、Willy标准质谱库检索对比获得的质谱数据和离子图谱,确定各色谱峰,定性精油成分,同时用面积归一化法确定精油相对含量<sup>[9]</sup>。

## 2.7 数据处理

所有试验数据采用Microsoft Excel 2007和SPSS 16.0进行处理。

## 3 结果与分析

### 3.1 不同浓度乙烯利对降香黄檀可溶性糖和淀粉含量的影响

由于不确定乙烯利处理后的木材变色部分是否完全和自然心材一致,故将该部分的“心材”在文中统称为变色边材。图1A表明:边材和变色边材的可溶性糖含量在各处理间均差异不显著;边材可溶性糖平均含量最高的为0.5%处理组(28.900 μg·

$\text{mg}^{-1}$ ),最低为2.5%处理组( $23.950 \mu\text{g} \cdot \text{mg}^{-1}$ );变色边材可溶性糖含量最高的为0.1%处理组( $9.503 \mu\text{g} \cdot \text{mg}^{-1}$ ),最低为CK组( $7.595 \mu\text{g} \cdot \text{mg}^{-1}$ )。各处理边材和变色边材的可溶性糖含量差异明显,变色边材的可溶性糖含量均明显低于边材的,CK、0.1%、0.5%、2.5%变色边材可溶性糖含量分别比边材的降低了72.37%、60.65%、68.08%、63.35%。图1B表明:不同浓度乙烯利处理边材的淀粉含量均显著高于CK,0.5%处理的淀粉含量最高,0.1%、0.5%、2.5%处理分别比CK增加了1.36、2.88、1.86倍。各处理变色边材的淀粉含量均显著低于边材中的含量,CK、0.1%、0.5%、2.5%处理变色边材的淀粉含量比边材的分别降低了89.06%、91.90%、85.68%;0.5%处理的变色边材中的淀粉含量显著高于其他处理,分别是CK、0.1%、2.5%的5.09、2.9、3.36倍。

### 3.2 不同乙烯利浓度对降香黄檀基本材性的影响

由表1可知:不同浓度乙烯利处理间的变色边材基本密度差异不显著,说明注射乙烯利对降香黄檀基本密度影响较小;生材密度的差异具有统计学意义,0.5%处理的最高( $1.036 \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ),比CK显著增加了7.4%;绝对含水率最高的为2.5%处理组,比CK显著升高了24.46%、32.01%;相对含水率也是2.5%处理组最高,为41.49%,比CK显著增加了16.48%。从变色边材比例看,乙烯利处理显著提高了变色边材的百分比,且随着乙烯利浓度的增加而增加,0.1%、0.5%、2.5%处理组分别比CK组增加了3.93、9.02、14.18倍。变色边材形成率随乙烯利浓度的增加逐渐升高,2.5%处理组最高为100%,是CK组的5倍。

表1 不同乙烯利浓度对降香黄檀变色边材基本材性的影响

Table 1 Effect of different ethephon concentrations on the basic wood properties of discoloration wood

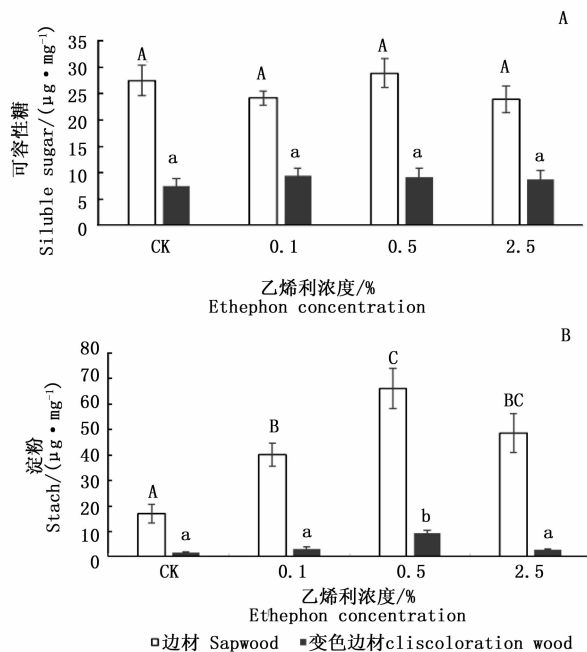
| 乙烯利浓度<br>Ethephon<br>concentration/% | 基本密度<br>Basic density<br>/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$ | 生材密度<br>Green density<br>/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$ | 变色边材绝对含水率<br>Discoloration wood absolute<br>moisture content/% | 变色边材相对含水率<br>Discoloration wood relative<br>moisture content/% | 变色边材比例<br>Discoloration<br>wood ratio/% | 变色边材形成率<br>Discoloration wood<br>formation rate/% |
|--------------------------------------|--|--|--|--|---|---|
| CK                                   | $0.616 \pm 0.065\text{a}$                                    | $0.965 \pm 0.064\text{ab}$                                   | $57.53 \pm 22.73\text{ab}$                                     | $35.62 \pm 0.066\text{ab}$                                     | $4.06 \pm 4.72\text{a}$                 | 20.00   |
| 0.1                                  | $0.592 \pm 0.052\text{a}$                                    | $0.932 \pm 0.060\text{a}$                                    | $54.24 \pm 7.55\text{a}$                                       | $35.02 \pm 0.032\text{a}$                                      | $19.99 \pm 17.73\text{b}$               | 66.67   |
| 0.5                                  | $0.613 \pm 0.038\text{a}$                                    | $1.036 \pm 0.055\text{c}$                                    | $65.89 \pm 11.15\text{b}$                                      | $39.45 \pm 4.190\text{bc}$                                     | $40.69 \pm 27.67\text{b}$               | 83.33   |
| 2.5                                  | $0.605 \pm 0.043\text{a}$                                    | $1.014 \pm 0.066\text{bc}$                                   | $71.60 \pm 11.34\text{b}$                                      | $41.49 \pm 3.840\text{c}$                                      | $61.63 \pm 19.38\text{c}$               | 100.00  |

注:表中误差线采用标准差绘制,小写字母表示 $P < 0.05$ 的显著水平。

Notes: Error bars are standard deviation, and the lowercase letters indicate the significant level of  $P < 0.05$ .

### 3.3 不同浓度乙烯利对降香黄檀组织化学变化的影响

利用染色剂对不同浓度乙烯利处理的降香黄檀边材(S)、变色边材(H)的组织切片见图2~4。由图2可知:CK、0.1%、0.5%、2.5%处理边材(S)中



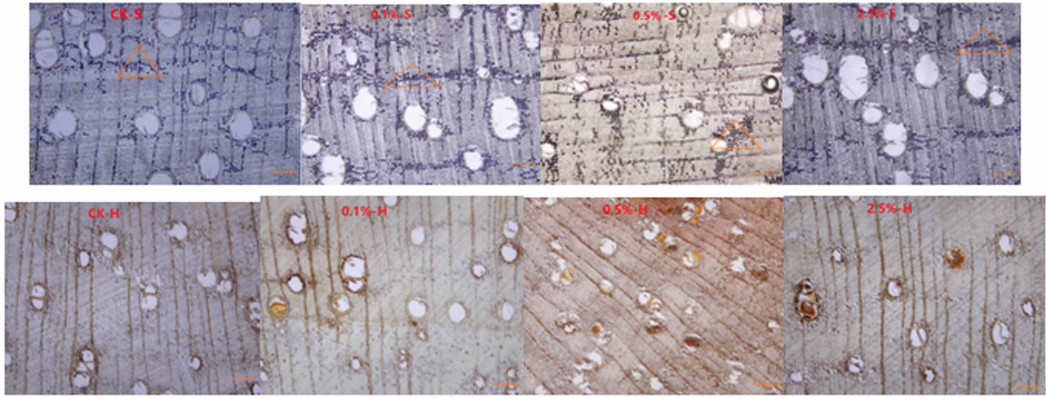
注:图中误差线使用标准差绘制,不同大写字母表示边材各处理间差异显著( $P < 0.05$ );不同小写字母表示变色边材各处理间差异显著( $P < 0.05$ )。

Notes: Error bars are standard deviation, different uppercase letters indicated that the difference between the treatments of sapwood was significant ( $P < 0.05$ ); different lowercase letters indicated that the discoloration sapwood had significant difference between the treatments ( $P < 0.05$ ).

图1 不同浓度乙烯利对降香黄檀可溶性糖和淀粉含量的影响

Fig. 1 Effect of different concentrations of ethephon on soluble sugar and starch content of *Dalbergia odorifera*

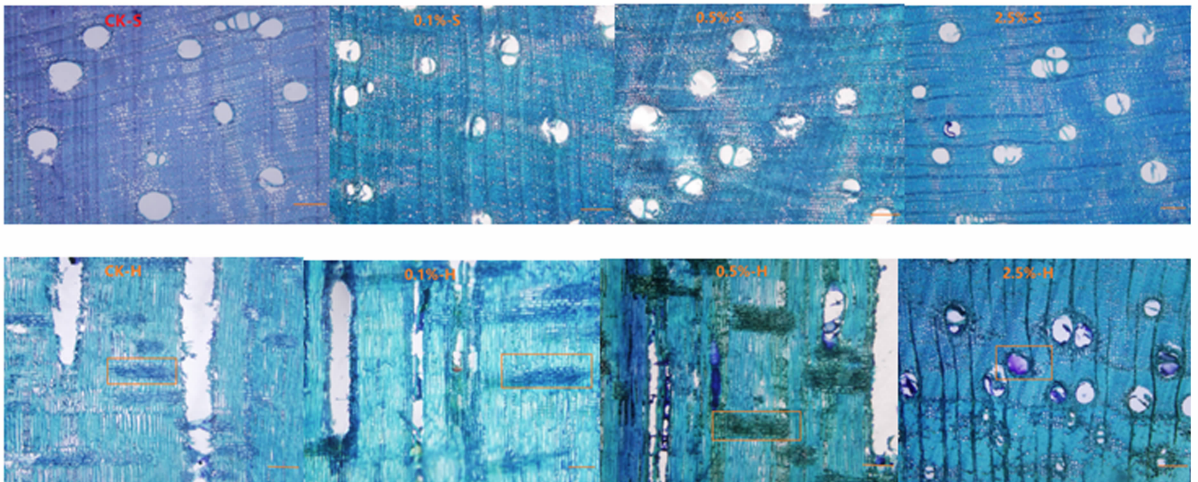
均含有大量淀粉,而变色边材(H)中却基本没有。耐尔兰对酸性脂类的染色(图3)、苏丹黑对脂类的染色(图4)、三氯化铁对酚醛类(图5)的染色结果具有一致性,均表现出边材(S)中几乎不出现脂类、酚醛类物质,而在变色边材(H)中出现。



注:Δ中为淀粉。Note: Δ is starch.

图2 不同浓度乙烯利处理下降香黄檀边材、变色边材碘-碘化钾染色效果,比例尺为200 μm

Fig.2 Effect of different concentrations of ethephon on the staining effect of iodine-potassium iodide on sapwood and discoloration wood, Scale bar is 200 μm



注:□中为酸性脂类。Note: □ is acidic lipid.

图3 不同浓度乙烯利处理下降香黄檀边材、变色边材耐尔兰染色效果,比例尺为200 μm

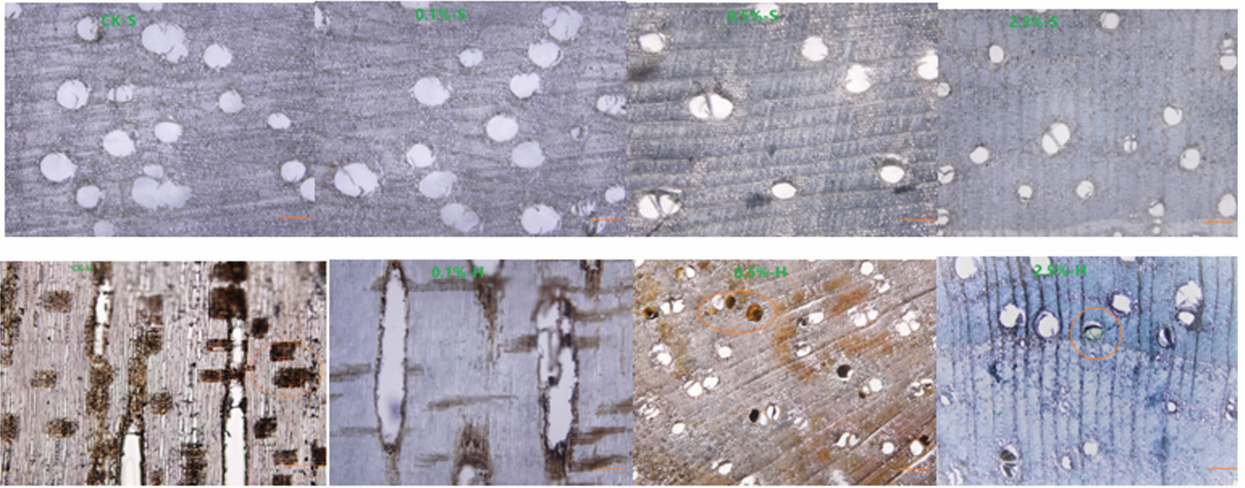
Fig.3 Effect of different concentrations of ethephon on the staining effect of Nile blue on sapwood and discoloration wood, Scale bar is 200 μm

### 3.4 不同乙烯利浓度对降香黄檀出油率和精油成分的影响

不同浓度乙烯利对降香黄檀边材和变色边材出油率的影响见图6。由图6可知:边材的出油率各处理间差异不显著,但乙烯利处理边材的出油率均高于CK组,最高的为0.5%处理组,比CK组增加了35.15%。图6还表明:变色边材的出油率随乙烯利浓度的增加逐渐升高,0.1%、0.5%、2.5%处理组分别比CK组增加了52.28%、121.54%、128.54%。

本试验共检测出12种各处理降香黄檀变色边材共同存在的主要精油成分,由表2可知:主要精油成

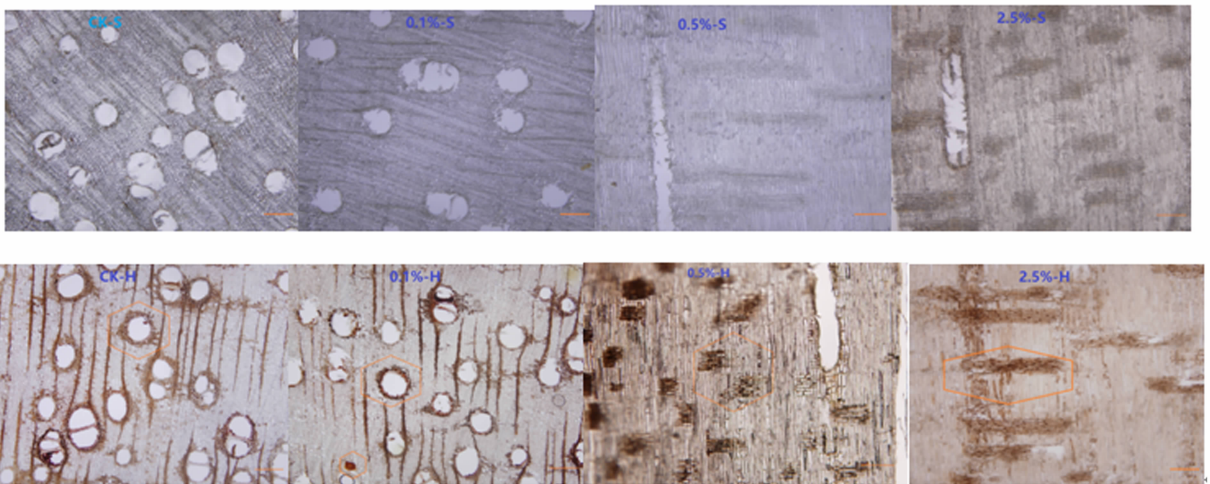
分橙花叔醇在各处理中均被检测出,CK组的相对含量最高(43.993%),各处理的顺序依次为:CK > 0.1% > 2.5% > 0.5%。乙烯利处理的甜没药萜醇A含量均大于CK组,2.5%处理组的含量最高(1.124%),比CK组升高了36.57%。α-金合欢烯和紫檀素均为0.1%处理组的含量最高,2.5%处理组的含量最低;2-异丙烯基-5-甲基己-4-烯醛、3,9-二甲氧基-6H-苯并呋喃并[3,2-c][1]苯并吡喃、4,4'-亚甲基二(N,N-二甲苯胺)3种物质均为2.5%处理组的含量最高,分别比CK组增加了3.96、3.02、1.89倍;顺式-Z-α-双酚环氧化物、二氢-3-(2-甲基-2-丙烯基)-2,5-呋喃二



注:○中为脂类。Note: ○ is lipid.

图4 不同浓度乙烯利处理下降香黄檀边材、变色边材苏丹黑染色效果,比例尺为 200  $\mu\text{m}$

Fig.4 Effect of different concentrations of ethephon on the staining effect of Sudan black on sapwood and discoloration wood, Scale bar is 200  $\mu\text{m}$



注:◇中为酚醛类。Note: ◇ is phenolics.

图5 不同浓度乙烯利处理下降香黄檀边材、变色边材三氯化铁染色效果,比例尺为 200  $\mu\text{m}$

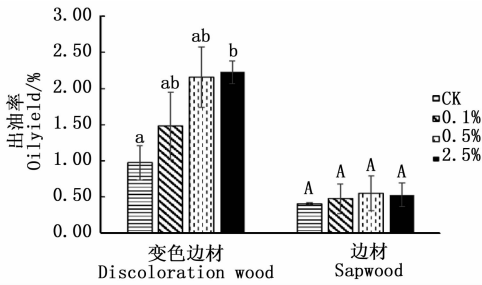
Fig.5 Effect of different concentrations of ethephon on the staining effect of Ferric chloride on sapwood and discoloration wood, Scale bar is 200  $\mu\text{m}$

酮也为2.5%处理组的平均含量最高,比CK分别升高了46.35%、16.05%。

#### 4 讨论

自然状态下乙烯产生于植物组织中,是一种气态激素,和心材中抽提物的合成、酶活性等有关<sup>[12]</sup>,乙烯利可在环境 pH > 4 时释放乙烯,因此,乙烯利常被当作一种植物生长调节剂代替乙烯<sup>[14]</sup>。在植物碳水化合物的运输和分配的调控上生长调节剂发挥着重要作用<sup>[15]</sup>,植物淀粉和可溶性糖含量属数量

性状,多决定于栽培条件和遗传基因等多种因素<sup>[16]</sup>。本研究结果表明,树干注射乙烯利后各处理边材的淀粉含量均显著高于CK组,0.5%处理组最高。由此可见,树干注射乙烯利可提高降香黄檀边材中的淀粉含量。温国泉等<sup>[17]</sup>研究发现,喷施生长调节剂后提高了淮山药的淀粉含量。宫占元等<sup>[15]</sup>也发现,植物生长调节剂能显著提高马铃薯块茎的淀粉含量。叶德练等<sup>[18]</sup>对玉米施用乙烯利的结果发现,乙烯利可明显促进玉米节间碳水化合物含量的增加。因此,生长调节剂乙烯利能促进植物合成淀



注:表中误差线采用标准差绘制,不同小写字母表示变色边材处理间差异显著( $P < 0.05$ );不同大写字母表示边材各处理间差异显著( $P < 0.05$ )。

Notes: Error bars are standard deviation, different lowercase letters indicated that the discoloration sapwood had significant difference between the treatments ( $P < 0.05$ ); different uppercase letters indicated that the difference between the treatments of sapwood was significant ( $P < 0.05$ ).

图6 不同乙烯利浓度对降香黄檀出油率的影响

Fig. 6 Effect of different ethephon concentrations on the oil yield of *Dalbergia odorifera*

粉与本研究结果一致。根据 Hilis 的研究<sup>[19]</sup>,在心材形成过程中射线细胞不断将边材中的淀粉转移到过渡区,后被降解为可溶性碳水化合物,与此同时酶活性不断升高,进而转化成心材物质。因此,乙烯利处理有助于促进心材物质的形成。本研究还发现,各处理边材和变色边材的淀粉、可溶性糖含量差异明显,二者在变色边材中的含量均显著低于边材。

表2 不同浓度乙烯利对降香黄檀变色边材精油主要共有成分含量的影响

Table 2 Effects of different Concentrations of ethephon on the Contents of major components in essential Oil of *Dalbergia odorifera*

| 保留时间<br>RT /min | 组分 Ingredients  | 化学物质登录号<br>CAS | 精油相对含量 Essential oil relative content/% |        |        |        |
|-----------------|---|----------------|---|--------|--------|--------|
|                 |   |                | CK                                      | 0.1%   | 0.5%   | 2.5%   |
| 13. 255         | $\alpha$ -金合欢烯 $\alpha$ -Farnesene  | 000502-61-4    | 0.079                                   | 0.133  | 0.062  | 0.052  |
| 15. 202         | 2-(5-甲基-呋喃-2-基)-丙醛<br>2-(5-Methyl-furan-2-yl)-propionaldehyde                     | 1000193-72-3   | 9.008                                   | 10.459 | 12.130 | 10.815 |
| 16. 304         | 2-异丙烯基-5-甲基己-4-烯醛 2-Isopropenyl-5-methylhex-4-enal                                | 075697-98-2    | 0.200                                   | 0.657  | 0.582  | 0.992  |
| 22. 885         | 6-甲氧基-2-甲基-3-苯基,5-呋喃酚<br>5-Benzofuranol,6-methoxy-2-methyl-3-phenyl-              | 078134-83-5    | 0.068                                   | 0.056  | 0.105  | 0.096  |
| 28. 547         | 3,9-二甲氧基-6H-苯并呋喃并[3,2-c][1]苯并吡喃<br>3,9-Dimethoxy-6H-benzofuro[3,2-c][1]benzopyran | 001433-08-5    | 0.308                                   | 0.396  | 1.005  | 1.237  |
| 23. 546         | 4,4'-亚甲基二(N,N-二甲基苯胺)<br>4,4'-Methylenebis(N,N-dimethylaniline)                    | 000101-61-1    | 1.013                                   | 1.938  | 2.525  | 2.929  |
| 15. 610         | 甜没药萜醇 A Bisabolol oxide A   | 22567-36-8     | 0.823                                   | 0.937  | 0.909  | 1.124  |
| 25. 958         | 紫檀素 Homopterocarpin   | 000606-91-7    | 0.048                                   | 0.109  | 0.098  | 0.035  |
| 14. 156         | 橙花叔醇 Nerolidol  | 000142-50-7    | 43.993                                  | 37.939 | 32.941 | 35.759 |
| 22. 957         | 2TMS 衍生物对苯二酚 2TMS derivative, Hydroquinone  | 002117-24-0    | 0.028                                   | 0.017  | 0.067  | 0.042  |
| 15. 935         | 顺式-Z- $\alpha$ -双酚环氧化物 cis-Z- $\alpha$ -Bisabolene epoxide                        | 1000131-71-2   | 0.274                                   | 0.373  | 0.318  | 0.401  |
| 14. 350         | 二氢-3-(2-甲基-2-丙烯基)-2,5-呋喃二酮<br>2,5-Furandione, dihydro-3-(2-methyl-2-propenyl)-    | 018908-20-8    | 32.162                                  | 30.179 | 36.130 | 37.323 |

这与多项研究结果一致<sup>[20-21]</sup>,可能与木材自身结构和生理生化特性相关,从外至内薄壁细胞逐渐减少。同时也说明,乙烯利诱导产生并不断消耗的糖分,有利于更多心材物质的累积<sup>[14,22]</sup>。

木材的含水率、密度、硬度等指标是木材的基本性质,也是决定木材品质的重要参数,会对其加工质量和使用价值造成影响<sup>[23]</sup>,了解林木材性有助于优质林的选育<sup>[24-25]</sup>。本试验中,不同浓度乙烯利处理间的木材基本密度差异不显著;生材密度差异明显,0.5%处理的生材密度最高;变色边材绝对含水率和相对含水率均为2.5%处理的最高。从变色边材所占比例看,乙烯利各处理的均大于CK,且随着乙烯利浓度的增加而增加;变色边材形成率随乙烯利浓度的增加呈上升趋势,2.5%处理的达到100%。刘小金<sup>[26]</sup>利用外源生长调节剂诱导形成的檀香心材结果表明,乙烯利及其他各处理与CK间的心材含水率、基本密度差异不显著。贾瑞丰<sup>[8]</sup>研究结果发现,2%浓度乙烯利处理后降香黄檀心材基本密度、生材密度均显著高于CK,但含水率却低于CK。崔之益<sup>[9]</sup>的研究结果显示,乙烯利处理后降香黄檀心材基本密度高于CK,相对含水率间差异不显著。这可能和种源、家系、无性系<sup>[27-28]</sup>及乙烯利用量、立地条件、后期养护等因素有关,有待于进一步研究证实。

大多数研究者认为,心材形成的原因是薄壁细胞在转换区特殊的生理过程,位于转换区的薄壁细胞死亡前会产生生理机能亢进,期间把边材中的淀粉等贮藏物质转化为抽提物,并运送到附近的组织中<sup>[29-32]</sup>。Song 等<sup>[33]</sup>发现,如果形成的非溶性、非极性且分子量较大的抽提物不能顺利进入细胞壁,则会沉积于纹孔或细胞腔等大孔隙中。本研究中组织化学观测发现,各处理的边材中均含有大量淀粉,而变色边材中却基本没有,且边材中几乎未出现脂类、酚醛类物质,但在变色边材中均被大量观测出。由此说明,乙烯利诱导变色边材形成中,消耗了边材中的大量淀粉,合成含脂类、酚醛类等物质的抽提物。

目前,对降香黄檀的研究结果发现其心材的主要成分为黄酮类化合物和挥发油<sup>[34-36]</sup>,挥发油中的成分各有差异,但橙花叔醇普遍存在,且含量较大<sup>[37-38]</sup>。李卓亚等<sup>[39]</sup>对 9 种不同来源降香黄檀挥发油含量的研究结果表明,出油率为 1.01%~2.70%;赵夏博<sup>[40]</sup>对降香黄檀出油率的研究结果为 1.75%;林励<sup>[41]</sup>的结果为 3.61%~3.79%。本试验中,降香黄檀出油率为 0.97%~2.23%,且各乙烯利处理后变色边材的出油率均高于对照,随乙烯利浓度的增加逐渐升高。

本研究共检测出 12 种共同主要精油成分,橙花叔醇含量在各处理中均最高,顺序为:CK > 0.1% > 2.5% > 0.5%;乙烯利处理的甜没药萜醇 A 含量均大于 CK,含量最高的为 2.5% 处理; $\alpha$ -金合欢烯和紫檀素均为 0.1% 处理的含量最高。因此,乙烯利诱导降香黄檀形成的变色边材和自然心材的主要成分极为相近,且含量差距较小。这和周双清等<sup>[10]</sup>、崔之益<sup>[9]</sup>的研究结果乙烯利处理后降香黄檀变色边材挥发油主要成分为橙花叔醇一致。李彤彤等<sup>[3]</sup>认为,降香黄檀心材形成过程可能为胡桃属型,即心材的酚类前体化合物随边材的老化过程而不断累积<sup>[20,42]</sup>。由此,本试验各处理中检测出的 2-(5-甲基-咪喃-2-基)-丙醛、3,9-二甲氧基-6H-苯并咪喃并[3,2-c][1]苯并吡喃等物质可能是心材物质的中间体,会通过一系列的生理生化过程逐渐转化为心材成分。

## 5 结论

乙烯利处理所得变色边材的基本材性、精油成分与相对含量和对照基本一致。树干注射乙烯利可有效促进降香黄檀心材的形成,结合对基本材性与

心材精油的影响,建议乙烯利浓度 2.5%,即每株降香黄檀在 0.3 m 与 1.3 m 两孔处分别同时注射 50 mL 浓度为 2.5% 的乙烯利溶液,能更有效的促进降香黄檀心材形成,可应用于生产中。

## 参考文献:

- [1] 江业根,陆俊锬,康丽华,等. 菌剂与化肥对降香黄檀苗期生长、结瘤的影响[J]. 中南林业科技大学学报,2016,36(5):6-10,25.
- [2] 洪舟,刘福妹,张宁南,等. 降香黄檀生长性状家系间变异与优良家系初选[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2018,42(4):106-112.
- [3] 李彤彤,李冠君,李家宁. GC-MS 分析比较琼产降香黄檀不同部位材化学成分[J]. 西北林学院学报,2018,33(5):172-178.
- [4] 孟慧,杨云,冯锦东. 降香黄檀引种栽培现状与发展[J]. 广东农业科学,2010,37(7):79-80.
- [5] 骆文坚,金国庆,何贵平,等. 红豆树等 6 种珍贵用材树种的生长特性和材性分析[J]. 林业科学研究,2010,23(6):809-814.
- [6] 赖猛,梁坤南,黄桂华,等. 柚木种源生长和与材质有关特性的遗传变异及综合评价[J]. 林业科学研究,2011,24(2):234-238.
- [7] Anatomists I A O W. Multilingual glossary of terms used in wood anatomy[M]. Yugoslavia: Verlagsanstalt Buchdruckerei Konkordia, 1964: 161-186.
- [8] 贾瑞丰. 降香黄檀人工促进心材形成的研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2014.
- [9] 崔之益. 人工促进降香黄檀心材形成及相关信号物质研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2018.
- [10] 周双清,周亚东,盛小彬,等. 乙烯利诱导形成降香黄檀心材挥发油的 GC-MS 分析[J]. 热带林业,2014(3):8-10.
- [11] Ziegler H. Biological aspects of heartwood formation[J]. Holz als Roh-und Werkstoff, 1968, 26(2): 61-68.
- [12] Hillis W E. Chemical aspects of heartwood formation[J]. Wood Science & Technology, 1968, 2(4): 241-259.
- [13] 刘红艳,吴坤,杨敏敏,等. 芝麻显性细胞核雄性不育系内源激素、可溶性糖和淀粉含量变化[J]. 中国油料作物学报,2014,36(2):175-180.
- [14] 王宏信,李向林,王楠,等. 植物生长调节剂处理对幼龄降香黄檀心材形成的影响[J]. 江苏农业科学,2017,45(14):95-99.
- [15] 官占元,项洪涛,李梅,等. 植物生长调节剂对马铃薯还原糖及淀粉含量的影响[J]. 安徽农业科学,2011,39(1):107-110.
- [16] 曹昌林,董良利,宋旭东,等. 氮、磷、钾配施对高粱籽粒淀粉含量的影响[J]. 山东农业科学,2010(5):68-70.
- [17] 温国泉,农梦玲,刘永贤,等. 不同植物生长调节剂对淮山药叶绿素及淀粉分解转化的影响[J]. 西南农业学报,2016,29(6):1281-1284.
- [18] 叶德练,王庆燕,张钰石,等. 乙烯利和氮肥对玉米基部节间性状和抗折断力的调控研究[J]. 中国农业大学学报,2015,20(6):1-8.

- [19] Hillis W E. Heartwood and tree exudates[M]. Berlin: Spring-Verlag, 1987: 268.
- [20] Magel E, Jay-Allemand C, Ziegler H. Formation of heartwood substances in the stemwood of *Robinia pseudoacacia* L. II. Distribution of nonstructural carbohydrates and wood extractives across the trunk [J]. *Trees*, 1994, 8(4): 165 - 171.
- [21] Magel E A, Drouet A, Claudot A C, et al. Formation of heartwood substances in the stem of *Robinia pseudoacacia* L [J]. *Trees*, 1991, 5(4): 203 - 207.
- [22] Xu D P, Sung S J, Black C C. Sucrose metabolism in lima bean seeds[J]. *Plant Physiology*, 1989, 89(4): 1106 - 1116.
- [23] 常德龙,张云岭,胡伟华,等. 不同种类泡桐的基本材性[J]. *东北林业大学学报*, 2014, 42(8): 79 - 81.
- [24] 林思京. 25年生马尾松生长和木材基本密度家系变异与选择[J]. *林业科学研究*, 2010, 23(6): 804 - 808.
- [25] 李魁鹏,韦正成,黄开勇,等. 广西融水特色红心杉木优树材质性状变异规律研究[J]. *林业科学研究*, 2017, 30(3): 424 - 429.
- [26] 刘小金. 檀香精油成分组成、分布及人工促成心材形成的研究[D]. 北京:中国林业科学研究院, 2012.
- [27] 朱映安,徐建民,李光友,等. 尾叶桉与赤桉正反析因交配杂种 F1 材性遗传参数的估算[J]. *林业科学研究*, 2018, 31(6): 121 - 129.
- [28] 陈孝丑. 枫香优树 14 年生子代遗传变异及选择[J]. *林业科学研究*, 2015, 28(2): 183 - 187.
- [29] Taylor A M, Gartner B L, Morrell J J. Heartwood formation and natural durability: a review[J]. *Wood and Fiber Science*, 2002, 34(4): 587 - 611.
- [30] Bergström B, Gref R, Ericsson A. Effects of pruning on heartwood formation in Scots pine trees[J]. *Journal of Forest Science*, 2004, 50(1): 11 - 16.
- [31] Song K, Liu B, Jiang X, et al. Cellular changes of tracheids and ray parenchyma cells from cambium to heartwood in *Cunninghamia lanceolata* [J]. *Journal of Tropical Forest Science*, 2011, 23(4): 478 - 487.
- [32] 罗蓓,何蕊,杨燕. 边材生理机能及心材形成机理的研究进展[J]. *北京林业大学学报*, 2018, 40(1): 120 - 129.
- [33] Song K L, Yin Y F, Salmén L, et al. Changes in the properties of wood cell walls during the transformation from sapwood to heartwood [J]. *Journal of Materials Science*, 2014, 49(4): 1734 - 1742.
- [34] Wang W, Weng X, Cheng D. Antioxidant activities of natural phenolic components from *Dalbergia odorifera* T. Chen [J]. *Food Chemistry*, 2000, 71(1): 45 - 49.
- [35] Yu X, Wang W, Yang M. Antioxidant activities of compounds isolated from *Dalbergia Odorifera* T. Chen and their inhibition effects on the decrease of glutathione level of rat lens induced by UV irradiation [J]. *Food Chemistry*, 2007, 104(2): 715 - 720.
- [36] 张波,李 佳,刘红燕,等. 降香挥发油研究进展[J]. *中国药师*, 2014, 17(8): 1403 - 1406.
- [37] 秦延林,王 赛,林 波,等. 花梨木挥发油化学成分的分析[J]. *海南大学学报:自然科学版*, 2010, 28(1): 38 - 40.
- [38] Wang H, Mei W L, Dai H F, et al. Phenolic compounds from *Dalbergia odorifera* [J]. *Phytochemistry letters*, 2014, 9: 168 - 173.
- [39] 李卓亚,唐春萍,梁生旺,等. 气相色谱法测定不同商品来源降香药材中挥发油和反式苦橙油醇的含量[J]. *广东药学院学报*, 2009, 25(5): 459 - 461.
- [40] 赵夏博,梅文莉,龚明福,等. 降香挥发油的化学成分及抗菌活性研究[J]. *广东农业科学*, 2012, 39(3): 95 - 96 + 99.
- [41] 林 励,徐鸿华,肖省娥,等. 不同品种降香质量研究[J]. *中药材*, 1997(7): 366 - 369.
- [42] 斯蒂芬·帕拉蒂. 木本植物生物学[M]. 北京:科学出版社, 2011: 85 - 86.



# Effects of Different Concentrations of Ethephon on the Heartwood and Essential Oil Components of *Dalbergia odorifera*

WANG Yue-lin, XU Da-ping, YANG Zeng-jiang, LIU Xiao-jin, HONG Zhou, ZHANG Ning-nan

(Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, Guangdong, China)

**Abstract:** [ **Objective** ] To understand the effects of different concentrations of ethephon on the formation of heartwood and essential oil component of *Dalbergia odorifera*. [ **Method** ] The experiment selected *D. odorifera* with DBH ranging from 6 to 8 cm as the research object. This study aimed at questing the impacts of various ethephon concentration degrees (CK, 0.1% , 0.5% , and 2.5% ) on starch and soluble sugar of *D. odorifera* , basic wood properties, histochemistry, and essential oil component via trunk injection. [ **Result** ] The consequences manifested the obvious discrepancy of soluble sugar content between sapwood and discoloration wood among all treatments. Moreover, all sugar content of discoloration wood was much lower than that of sapwood. All sapwood's starch content processed with ethephon exceeded that of CK, and the starch content of 0.5% treatment was the highest, which was consistent with the findings of discoloration wood's starch content. With regards to the timber characters, the maximum fresh timber density was  $1.036 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  with 0.5% treatment, and 2.5% processing led to the maximum values for both absolute and relative moisture content. In addition, all the ethephon treatments dramatically improved the percentage and the formation rate of discoloration wood. The results regarding histochemistry indicated that all sapwood contained massive starch while discoloration wood possessed none. A large number of lipids, acidic lipids and phenolic compounds was observed in discoloration wood while none in the sapwood. The oil yield of discolored wood increased gradually with the increase of ethephon concentration. 0.1% , 0.5% and 2.5% treatments increased by 52.28% , 121.54% and 128.54% , respectively. Among the 12 common heartwood components detected, the most important one was nerolidol, and the order was CK > 0.1% > 2.5% > 0.5% . Furthermore, 2.5% treatment contributed to the highest content of bisabolol oxide A, which elevated 36.59% more than that of CK. Both alpha-farnesene and homopterocarpin in 0.1% treated samples had the highest content. [ **Conclusion** ] Each ethephon treatment could affect starch and resolvable sugar, basic wood properties, histochemistry, and essential oil component of *Dalbergia odorifera*. 2.5% treatment could facilitate the formation of *D. odorifera*'s heartwood.

**Keywords:** *Dalbergia odorifera*; heartwood; essential oil components; ethephon; histochemistry

(责任编辑:徐玉秀)