

人工促成檀香结香的研究

李应兰 陈福莲

(中国科学院华南植物园, 广州 510520)

摘要

在自然情况下生长的檀香 (*Santalum album* L.) 植株, 约 10 龄左右开始形成具芳香的心材 (通称结香), 约 30—40 年方可砍伐利用。作者采用两年生的幼树, 施用植物生长抑制剂 PGI-1 进行促成结香试验, 结果证明采用 1% 3ml 生长激素处理的植株, 其檀香油和檀香醇的含量一般较对照和用水处理的植株高 1—2 倍。

关键词: 檀香; 生长激素; 促成结香

檀香 (*Santalum album* L.) 主产印度, 是名贵香科、药材和高级工艺雕刻品原料, 其有用部分是具有芳香的心材。在自然生长情况下, 一般在 10 龄左右开始形成心材, 需 30—40 年才可砍伐利用^[1]。檀香心材一般含油量 2—6%, 其中 90% 以上为檀香醇, 树龄越大, 檀香油和醇的含量越高^[3,4]。

我国大陆于 1962 年首次引种檀香^[1], 经过 20 多年的栽培, 已获得有商品价值的心材 (含油量 2—3%, 含醇量达 90%), 证明引种成功。但由于生产周期长, 较难大面积推广。因此, 研究人工促成提早结香, 具有重要的生产价值。

檀香心材形成 (结香) 的机理, 至今尚无深入研究, 有人认为可能与激素有关^[1], 也有人认为可能与白木香 (*Aquilaria sinensis*) 的结香相似, 是真菌的侵入所致^[2], 但均未经试验证明。在 20 多年的引种栽培过程中, 我们观察到, 檀香茎受机械损伤或因土壤排水不良引起烂根^[1], 或在咖啡木蠹蛾 (*Zeuzera coffeae*) 蛀入树干的虫道, 有时引起局部结香。根据上述现象, 我们用人工施用生长激素的方法, 进行促成提早结香的试验。

材料与方 法

试验材料为在试验地直播繁殖、栽培 2 年的檀香幼树。在树干基部用打孔灌注形式将药液徐徐滴入树干孔中。施用药物为具有生长抑制效应的植物激素, 代号 PGI-1, 施药的浓度和用量先经过预试, 以施药后植株产生落叶反应, 但又不过度衰弱或死亡为度, 最后选择的浓度为 1%。用量分为 1ml 和 3ml; 同一用量每年施放次数为 1 次/年, 2 次/年, 4 次/年。同时每一处理都用等量的水处理和作任何处理的植株作对照, 共 26 个处理组合, 连续处理三

本文承胡启明教授审阅, 陈永强, 李恒光同志测定檀香醇含量, 特此致谢。

1994-01-13 收稿; 1994-03-31 修回

年。每组合药剂处理4株,水处理2株,对照(不作任何处理)4株。水处理与施药方法相同。施药后每月定期观察生长表现,测定树高和茎粗的年生长量。

处理三年的植株,1990年全株挖起,根和茎分别处理,除去无色的边材,阴干有色的木质部,粉碎为粗粉状。每样号取3g粗粉用烘干法测定含水量;另取200g粗粉,用水蒸汽蒸馏法提取精油:将样品置于5000ml的烧瓶中,加水3000ml,加碎瓦砾,煮沸后连续蒸馏6h,用沸程30—60℃分析纯石油醚洗油,再用无水硫酸钠脱水,将石油醚挥发净后称油重,计算含油量百分比(%),最后用GA-9A气相色谱仪(色谱柱为OV-17)测定檀香油的含醇量。

试验结果

一、PGI-1对檀香植株生长的影响

经PGI-1处理的植株,按用药量的不同,每次均产生不同程度的落叶;药量大的落叶较多,而水处理和不作任何处理的对照均不落叶。从年生长量的测定可进一步看出,除个别例外,处理的植株,平均株高增长和平均茎粗增长均比用水处理和不作任何处理的对照植株小。株高增长缓慢更为显著(图1、2,表1)说明PGI-1对檀香的营养生长起到一定的抑制作用。

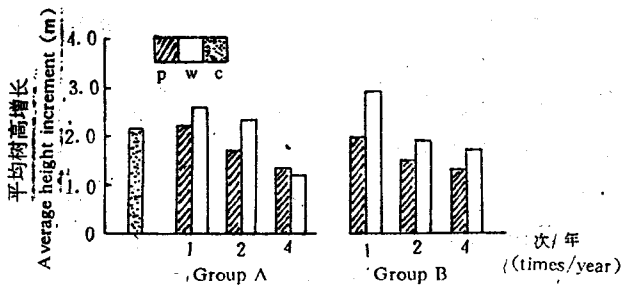


图1 不同处理对檀香树高增长的影响

Fig. 1 Effects of different treatment on height increment

of *Santalum album* L.

组A: 1ml PGI-1或水的处理;

Group A: Treated with 1ml PGI-1 or water;

组B: 3ml PGI-1或水的处理;

Group B: Treated with 3ml PGI-1 or water.

图例: P, 植物生长抑制剂; Plant growth inhibitor.

W, 水 Water.

C, 对照; Control.

图2-6图例同图1; Legends of fig. 2-6 all as fig. 1.

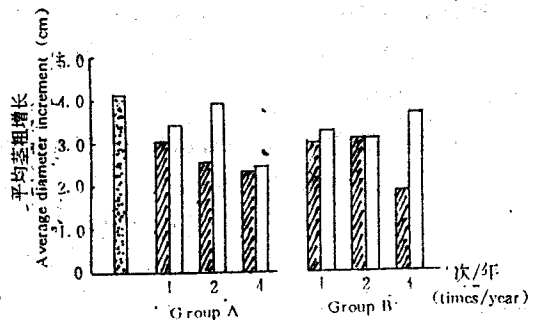


图2. 不同处理对檀香茎粗增长的影响

Fig. 2 Effects of different treatment on diameter increment of

Santalum album L.

组A: 1ml PGI-1或水的处理;

Group A: Treated with 1ml PGI-1 or water;

组B: 3ml PGI-1或水的处理;

Group B: Treated with 3ml PGI-1 or water.

表1 不同处理对檀香生长量的影响

Table 1 Effects of different treatments on growth increments of *Santalum album* L.

| 项 目 Item | | 1次/年 | 2次/年 | 4次/年 | 1次/年 | 2次/年 | 4次/年 |
|--|---------------------|----------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------|-------------------------|
| | | 1%1ml once a year | 1%1ml twice a year | 1%1ml 4 times a year | 1%3ml once a year | 1%3ml twice a year | 1%3ml 4 times a year |
| 树高增长比较 Comparison of height increment (%) | PGI-1 比水 P vs W | -14.3 | -27.66 | +11.67 | -32.07 | -21.05 | -24.71 |
| | PGI-1 比对照 P vs C | +2.29 | -22.02 | -38.53 | -9.63 | -31.19 | -41.28 |
| 茎粗增长比较 Comparison of diameter increment (%) | PGI-1 比水 P vs W | -10.88 | -35.13 | -2.92 | -8.00 | 0 | -49.32 |
| | PGI-1 比对照 P vs C | -26.63 | -38.74 | -43.58 | -27.60 | -26.15 | -55.21 |

P: 植物生长抑制剂处理, Treated by plant growth inhibitor

W: 水处理, Treated by water

C: 对照, Control

+: 增加, Increased

-: 减少, Decreased

vs: 对比, versus

表2 P. W. C. +. -. vs 同表1, Table 2 P. W. C. +. -. vs as Table 1.

二、PGI-1 对檀香油和檀香醇在植株中形成的影响

从根和茎含油量和油中含醇量的测定证明, PGI-1 处理的植株, 其根、茎平均含油量和含醇量普遍高于用水处理和不作任何处理的对照植株; 用药量较大的 (1%3ml) 各组尤为显著 (图 3、4、5、6)。从图 3 和 4 的 12 个组合中可看出。只在用量为 1%1ml 的情况下 (Group A), 茎和根的平均含油量各出现过一次与预期相反的结果 (即用水处理的植株含量高于 PGI-1 处理的植株)。在图 5、图 6 的 12 个组合中, 茎油和根油平均含醇量也有 2 个组合出现了上述与预期相反的结果, 而且也都分别出现于 PGI-1 施用量较低的 A 组中。

根据不同处理对檀香茎、根平均含油量和含醇量的比较 (表 2) 可以看出, 用 1% 3ml PGI-1 处理的植株与用同量水处理和对照植株比较的 24 组数字中, 有 16 组数字高出水处理和对照 1—2 倍, 3 组数字高出 3—4 倍, 仅 5 组数字高出不到一倍; 而在以 1% 1ml PGI-1 处理的植株与水处理和对照植株对比的 24 组数字中, 有 5 组比水处理和对照高出一倍以上, 13 组高不及一倍, 并有 5 组出现负增长 (即低于水处理和对照植株), 充分说明用 1% 3ml 效果较显著。证明适当浓度的 PGI-1 对促成檀香结香有明显效果, 也证明结香过程与激素有密切关系。

三、含油量与含醇量的关系

从茎和根的含油量和油的含醇量的测定数字可看出, 含油量增高, 油的含醇量亦增高, 二者有相对应的正相关规律性, 在本试验中, 茎的含油量与油的含醇量的相关系数达 0.708。

四、机械创伤对檀香结香的影响

在植株茎上钻孔, 以水代替生长激素处理作对照, 实际上只起到机械创伤作用, 结果证

明, 这种单纯的机械创伤对促成檀香结香, 没有明显效果。

五、对生长激素作用下形成的檀香油的鉴定

应用气相色谱仪对本试验中所提取的檀香精油进行鉴定, 并与进口檀香油对照、证明其主要成分为 α 和 β 檀香醇 (Santalol $C_{15}H_{23}OH$), 与进口檀香油一致 (图 7)。

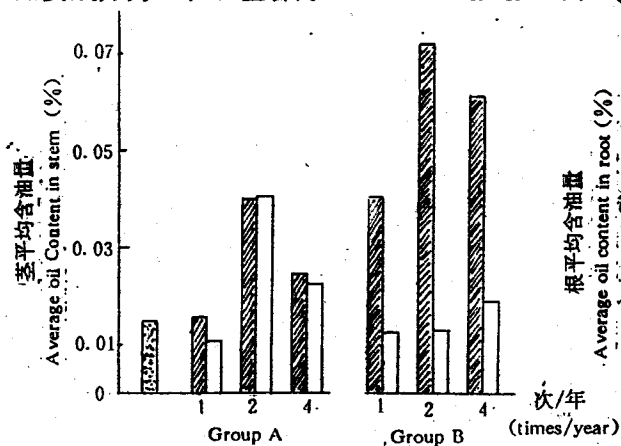


图 3. 不同处理对檀香茎平均含油量的影响

Fig. 3 Comparison of effects of different treatments on average oil content in stem of *Santalum album* L.

组 A, 1ml PGI-1 或水处理;
Group A, Treated with 1ml PGI-1 or water;
组 B, 3ml PGI-1 或水的处理;
Group B, Treated with 3 ml PGI-1 or water.

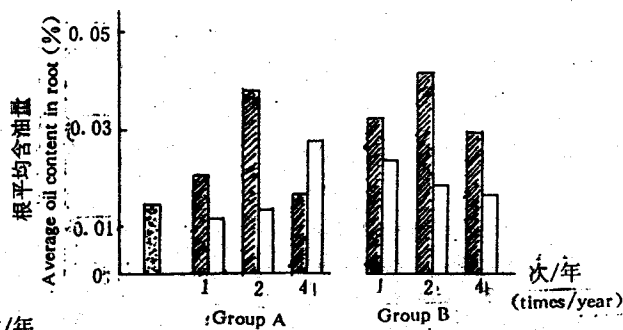


图 4. 不同处理对檀香根平均含油量的影响

Fig. 4 Comparison of effects of different treatments on average oil content in roots of *Santalum album* L.

组 A, 1ml PGI-1 或水的处理;
Group A, Treated with 1ml PGI-1 or water;
组 B, 3ml PGI-1 或水的处理;
Group B, Treated with 3ml PGI-1 or water.

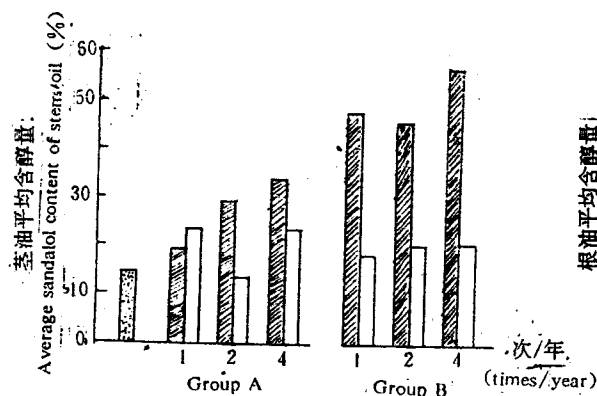


图 5. 不同处理对檀香茎油含醇量的比较

Fig. 5 Comparison of effects of different treatments on average sandalol content in stem oil.

组 A, 1ml PGI-1 或水的处理;
Group A, Treated with 1ml PGI-1 or water;
组 B, 3ml PGI-1 或水的处理;
Group B, Treated with 3ml PGI-1 or water.

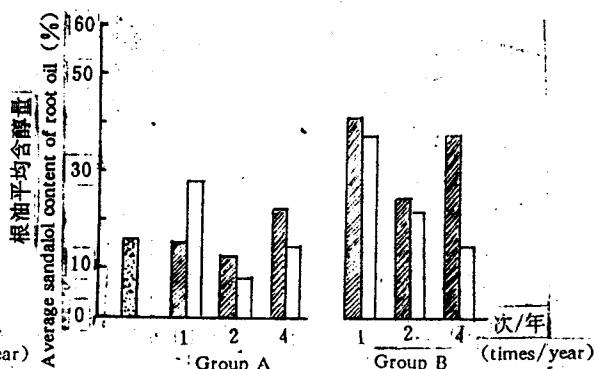


图 6. 不同处理对檀香根油含醇量的比较

Fig. 6 Comparison of effects of different treatments on average sandalol content in root oil.

组 A, 1ml PGI-1 或水的处理;
Group A, Treated with 1ml PGI-1 or water;
组 B, 3ml PGI-1 或水的处理;
Group B, Treated with 3ml PGI-1 or water.

表2 不同处理对檀香油和油的含醇量的影响

Table 2 Effects of different treatments on the contents of oil and sandalol in *Santalum album*

| 项 目 Item | | 1次/年 1%1ml once a year | 2次/年 1%1ml twice a year | 4次/年 1%1ml 4times a year | 1次/年 1%3ml once a year | 2次/年 1%3ml twice a year | 4次/年 1%3ml 4times a year |
|---|---------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| 茎含油量比较 Comparison of oil content in stem (%) | PGI-1 比水 P vs W | +40.37 | -0.25 | +10.81 | +218.90 | +454.26 | +225.53 |
| | PGI-1 比对照 P vs C | +5.52 | +175.86 | +69.66 | +179.31 | +393.10 | +322.07 |
| 茎油含醇量比较 Comparison of sandalol content in stem oil (%) | PGI-1 比水 P vs W | -18.11 | +116.43 | +44.41 | +154.95 | +117.74 | +172.33 |
| | PGI-1 比对照 P vs C | +33.33 | +99.79 | +134.73 | +231.38 | +216.49 | +293.36 |
| 根含油量比较 (%) Comparison of oil content in root (%) | PGI-1 比水 P vs W | +79.13 | +191.60 | -41.73 | +36.71 | +129.67 | +80.49 |
| | PGI-1 比对照 P vs C | +45.07 | +169.01 | +14.08 | +128.17 | +194.37 | +108.45 |
| 根油含醇量比较 Comparison of sandalol content in root oil (%) | PGI-1 比水 P vs W | -45.55 | +51.67 | +55.97 | +11.66 | +22.33 | +153.88 |
| | PGI-1 比对照 P vs C | -3.23 | -22.39 | +41.37 | +163.44 | +55.91 | +137.82 |

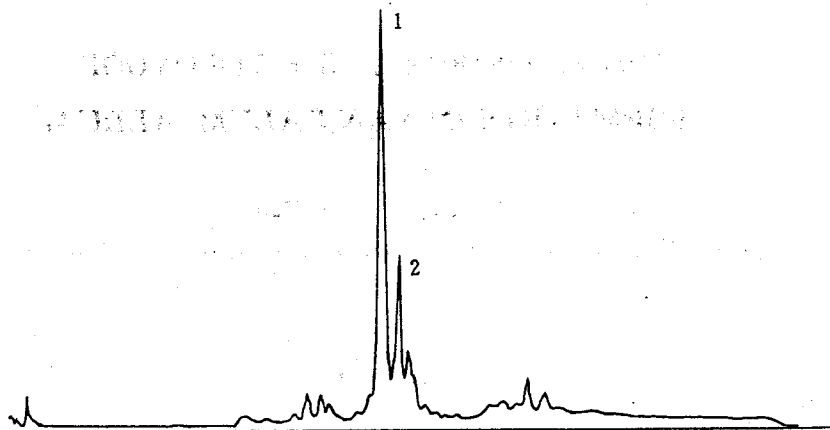


图7. 檀香精油气相色谱图

Fig. 7 Gas chromatogram of essential oil from *Santalum album* L.

1. α -檀香醇, α -Santalol
2. β -檀香醇, β -Santalol

讨 论

1. 试验证明, 檀香的结香过程与生长激素有关, 抑制植物生长对促成檀香结香有明显效

果。今后有必要在10龄以上的植株上进一步试验。此项技术极有生产应用前景。

2. 根据定期观察测量, 经 PGI-1 处理的檀香植株, 生势普遍较弱, 株高增长和茎粗增长均较用等量水处理和作任何处理的对照植株慢, 另根据我们 20 余年来的观察, 檀香在 10 龄后生长基本定型, 株高和茎粗增长极慢, 部分因土壤积水造成烂根而生长不良的幼龄檀香也可出现局部结香。据此提出檀香的结香过程可能与植株衰老, 营养生长转缓, 次生代谢物质的积累增强有关。

3. 本试验中, 经 PGI-1 处理的植株, 茎的含油量及油的含醇量均比根的含油量及含醇量高, 与在自然生长条件下结香, 一般根含油量高于茎⁽⁴⁾相反, 这可能与生长激素直接施于茎上有关。

4. 在本试验中出现了个别与预期相反的结果, 即经 PGI-1 处理的个别组合植株, 其含油量和含醇量低于用水处理和未作任何处理的对照植株。究其原因, 存在下列因素的影响: (1) 试验工作量大, 历时长, 在处理方法、取样、分析等方面, 可能出现人为误差; (2) 檀香是半寄生植物, 寄主生长的好坏, 直接影响檀香的生长, 而且较难在栽培中加以控制, 因此难免存在个体间的差异; (3) 试验地土壤排水不良, 檀香生长受到一些影响, 前文已提及这种现象也可能造成部分植株局部结香, 比正常情况下具有较高的含油量和含醇量。

参 考 文 献

- 1 李应兰. 檀香的引种试验. 中国科学院华南植物研究所集刊, 1983, 1, 113—122
- 2 曾幻添, 董文忠, 吴质朴. 沉香的人工结香. 中草药通讯, 1978, 12, 38—42
- 3 Nadkarni K M. Indian Materia Medica (3ed). Popular Press, Bombay, 1954, 1, 1098—1102
- 4 Ramaswamy M N. In chadha Y R ed. The Wealth of India. Sree Saraswaty Press Ltd. Calcutta. 1972. 9, 208—224

STUDIES ON FORCING HEARTWOOD FORMATION IN *SANTALUM ALBUM*

Li Yinglan Chen Fulian

(South China Botanical Garden, Academia Sinica, Guangzhou 510520)

Abstract

The useful part of sandal tree (*Santalum album*) is the fragrant heartwood, which usually starts its formation in about 10-year-old plants and increases slowly in size with the aging of the plant. In natural condition, it will take 30—40 years for the formation of commercially valuable heartwood in a sandal tree. In this study, 2-year-old seedlings of *Santalum album* were treated by 1% of a plant growth inhibitor (PGI-1) with different dosages (1ml, 3 ml) and different frequencies (once, twice and four times per year). Plants treated with the same quantity of water and that not being treated were used as control. After three years of treatment, the plants were dug up, the stems

and roots were ground into powder and distilled by steam separately. The obtained oil were measured and analysed by using gas chromatography. The results show that PGI-1 has distinct effects on forcing the heartwood formation in *Santalum album*. The average oil contents in stems and roots, as well as the sandalol content in the oil of the plants treated by PGI-1, with very few exceptions, are much higher than that treated by water. On the other hand, the differences of oil and sandalol contents are inconspicuous between the plants treated by water and that not being treated. It shows that mechanical injury alone during treatment has little influence on the formation of heartwood in sandal tree.

Key words: *Santalum album* L.; Plant growth inhibitor; Forcing heartwood formation

檀香木的结香过程是一个复杂的生理生化过程，涉及到木质部的形成和分泌。本研究旨在探讨人工促成檀香结香的方法，并分析其效果。通过对比不同处理组的檀香木，发现PGI-1处理组的檀香木结香率显著高于对照组。此外，PGI-1处理组的檀香木精油含量和沙檀醇含量也明显高于对照组。这些结果表明，PGI-1对檀香木的结香过程具有显著的促进作用。本研究为檀香木的栽培和加工提供了新的思路和方法。