

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.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.14.027

植物生长调节剂处理对幼龄降香黄檀心材形成的影响

王宏信,李向林,王楠,冷凝

(三亚学院,海南三亚 572000)

摘要:为研究植物生长调节剂对幼龄降香黄檀心材形成的影响,以 6 年生幼龄降香黄檀为试材,采用树体注入的方法,研究植物生长调节剂乙烯利(ETH)和 6-苄氨基腺嘌呤(6-BA)对其树高、胸径、心材形成和挥发油成分的影响。结果表明:试验进行 1 年之后,在不同植物生长调节剂的作用下,幼龄降香黄檀树高和胸径的变化均不显著,但均可促成幼龄降香黄檀形成颜色不均匀的深红褐色或紫红褐色心材,这与自然条件下较为一致。各处理促进形成的的心材面积有差异,依次为 2% 乙烯利(E1)处理>4% 6-BA(B2)处理=2% 乙烯利+4% 6-BA(E1B2)处理>4% 乙烯利+4% 6-BA(E2B2)处理>2% 6-BA(B1)处理>2% 乙烯利+2% 6-BA(E1B1)处理>对照处理(CK)>4% 乙烯利(E2)处理=4% 乙烯利+2% 6-BA(E2B1)处理;除 E1、B1、B2 处理之间的心材挥发油相对含量差异不显著之外,其余各处理差异显著($P<0.05$);除 B2、E2B2、E1B2 和 E1、B1 以及 E2、E1B1、E2B1 处理之间的心材挥发油绝对含量差异不显著之外,其余各处理差异显著($P<0.05$)。E1B2 处理的心材挥发油含量最高,对照处理的心材挥发油含量最低。利用模糊数学隶属函数法,对不同处理促进幼龄降香黄檀生成的心材挥发油主要组分进行综合评价,E1B2 处理与 33 年生的标准品质量最为接近。

关键词:植物生长调节剂;幼龄降香黄檀;心材形成;心材挥发油

中图分类号: S796.01 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)14-0095-05

降香黄檀(*Dalbergia odorifera* T. Chen),原产于我国海南岛,为蝶形花科(Papilionaceae)黄檀属,为国家二级保护植物,是我国珍贵红木之一。降香黄檀心材呈红褐色到深红褐色,偶有掺杂黑褐色条纹,新切面有浓郁辛辣刺激性香味^[1]。心材中提取的降香油,既可作为香料中的定香剂,同时也具有重要的药用价值。近年来,随着其心材资源的日益匮乏,市场需求较大,目前降香黄檀已经作为经济树种在我国东南沿海省份以及海南等地区大面积推广种植。但由于自然条件下降香黄檀成材缓慢,心材形成周期较长,且具有不确定性,人工种植技术不够成熟,所以成材时间一直成为广大林农最关注的问题^[2-3]。研究发现树木心材形成过程中由于酶活性、含水量、营养元素等物质的变化以及特殊代谢物的产生导致边材向心材转变^[4]。国内外学者开展了很多人工促进心材形成的试验研究,如树干填充乙烯、氮气、二氧化碳^[5],树干注射生长植物生长调节剂、百草枯^[6],采用水分胁迫^[7]、真菌菌液等^[8],但效果各不相同。为了加速心材形成,缩短种植周期,目前国内外很多学者针对降香黄檀的心材形成时间,以及人工促进心材的技术做了比较深入的研究。例如,陈水莲等研究认为,6~7 年降香黄檀开始产生心材,在 20~40 年增长速度较快^[9]。在诸多人工促进降香黄檀心材形成的方法中,树干注射植物生长调节剂是最为成熟,也是最具有应用前景的方法之一,很多学者也对其展开了比较深入的研究。例如,

孟慧等选取 3 种浓度的 3 种植物生长调节剂,对未形成心材的降香黄檀幼树进行树干钻孔注射,1 年后,经过检测发现受注射部位附近形成心材^[10]。贾瑞丰选取不同浓度的 4 种植物生长调节剂乙烯利、脱落酸、6-苄氨基腺嘌呤、百草枯对未形成心材的降香黄檀幼树进行钻孔施药,处理 1 年后受刺激部位形成深紫色心材^[7]。Radomiljac 对 5 年生檀香(*Sanmlum album*)幼树采取树干注射百草枯(MV)和 ETH,结果发现注射 MV、ETH 以及二者的混合物均能促进檀香心材的形成,生长 8 个月后测定其心材变化,发现以 1% MV+1% ETH 处理效果最好^[11]。前人对不同植物生长调节剂促进幼龄降香黄檀心材形成的研究中,多采用不同浓度的单一品种植物生长调节剂,缺乏对不同品种植物生长调节剂混合、多频次注射促进心材形成作用的研究。本试验为了筛选出 1 种或者几种促进幼龄降香黄檀心材生成效果较好的植物生长调节剂,在前人研究的基础上,选择了 2 种单独作用下表现较好的植物生长调节剂,按照不同质量浓度进行混合,通过分析不同植物生长剂组合对幼龄降香黄檀生长发育、心材的生成状况及其挥发油成分含量等的影响,为后续人工促进降香黄檀心材的研究提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况及材料

试验在海南省三亚市三亚学院降香黄檀种植基地(109.57°E、18.33°N)进行,该地区属热带海洋季风气候区,旱湿季节明显,夏长冬短。年平均气温为 25℃,年平均降水量 1755 mm,年平均相对湿度 78%,受台风影响平均每年约 3 次,最大风力在 12 级以上。试验地主要土壤类型为砖红壤,平均全氮含量、全磷含量、全钾含量、有机质含量分别为

收稿日期:2016-11-30

基金项目:海南省高等学校科学研究重点项目(编号:Hnky2016ZD-13)。

作者简介:王宏信(1983—),重庆人,男,硕士,讲师,主要从事园林植物研究工作。E-mail:orange269@163.com。

0.731、0.182、4.135、11.118 g/kg, pH 值为 4.56。试验材料为种植于 2010 年的人工降香黄檀幼林,株行距为 4 m×4 m,主要伴生植物为台湾相思(*Acacia confusa* Merr.)、飞机草(*Eupatorium odoratum* L.)等。供试树木平均胸径为 6.28 cm,树高为 5.64 m。

1.2 试验方法

前人研究发现,胸径小于 8 cm 降香黄檀幼树未产生心材^[7]。2015 年 10 月 7—12 日,在试验园区内随机选择 45 株生长状况良好、长势一致、胸径小于 8 cm、无心材形成的降香黄檀幼树用于试验。

1.2.1 试验设计 根据已有的研究成果^[7-8,12],本试验采用乙烯利(ETH)和 6-苄氨基腺嘌呤(6-BA)2 种植物生长调节剂。各种试剂均为分析纯,购于 Sigma-Aldrich 公司。试验采用完全随机设计,共计 9 个处理,每个处理选取 5 株降香黄檀幼树,单株重复,共计 45 株幼树参加试验。混合生长调节剂处理的 2 种生长调节剂体积比为 1:1,具体设计见表 1。

表 1 不同试验处理

处理编号	生长调节剂种类及浓度组合
E1	2% 乙烯利
E2	4% 乙烯利
B1	2% 6-BA
B2	4% 6-BA
E1B1	2% 乙烯利+2% 6-BA
E2B2	4% 乙烯利+4% 6-BA
E1B2	2% 乙烯利+4% 6-BA
E2B1	4% 乙烯利+2% 6-BA
CK	蒸馏水

1.2.2 生长调节剂注射方法 结合前人研究成果,并经过前期观测,发现降香黄檀的心材是由下至上形成的,即首先在树体基部形成。因此钻孔位置选择距离地面 30 cm 处,用钻头直径为 3 mm 的手动电钻与水平方向呈 45°钻孔,钻至髓心处。用注射器将植物生长调节剂缓慢地注入到树干内。年施加频次为 4 次,首次注射于 2015 年 10 月,其余 3 次分别为 2016 年 1 月、2016 年 4 月、2016 年 7 月,每次注射试剂量 3 mL,注射完毕后用橡皮泥封住孔洞。试验开始于 2015 年 10 月,结束于 2016 年 10 月。

1.2.3 形态指标测定 试验开始前(2015 年 10 月 7—12 日)分别测量供试的幼龄降香黄檀树高和胸径,1 年后(2016 年 10 月 7—12 日)再分别测定相应的树高和胸径指标。

1.2.4 心材取样 试验进行 1 年后(2016 年 10 月 7—17 日),以钻孔位置为中心用内径 5 mm 的生长锥,自南向北,上下间隔 30 cm 钻取木材样品。观察记录心材发生特征,测定心材宽度和总宽度。由于心材产生的扩展面积不同,在心材扩展范围较小的情况下,取样间隔距离逐渐缩小,直至取出心材样品。每个钻孔位置均取 2 个互相垂直的样品,将所取得样品的心材部分用于挥发油相对、绝对含量及其主要成分的测定。

1.2.5 挥发油的提取与分析 木芯样品浅色部位为边材,去除后,剩余的深色部分为心材。提取方法采用石油醚浸渍法^[13],成分分析参考贾瑞丰的方法^[7]。

1.2.6 数据处理及统计分析 以上所有数据重复测定 3 次以上,利用 Execl 2003 对试验数据进行统计分析,采用 SPSS

18.0 进行方差分析和 Duncan's 多重比较,并用 Excel 2003 和 Sigmaplot 13.0 绘制相关图表。利用模糊数学隶属函数法对不同处理促进心材产生的挥发油主要成分指标进行综合评价,与标准品心材挥发油主要成分指标的平均隶属值进行比较^[14],标准品为贾瑞丰试验中采用的广西凭祥 33 年生降香黄檀心材^[7]。用于比较分析的隶属函数值 $[X(U)]$ 计算方程为:

$$[X(U)] = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})。$$

式中: X 为所比较指标的测定值, X_{\max} 为所有不同处理中此指标的最大值; X_{\min} 为所有不同处理中此指标的最小值。

2 结果与分析

2.1 生长调节剂对幼龄降香黄檀树高和胸径的影响

试验进行 1 年后,幼龄降香黄檀的树高及胸径生长变化情况如图 1、图 2。其中树高增长最多的是 E1B2 处理,为 1.02 m,比对照提高 41.67%,增长最少的是 E2 处理,为 0.44 m,比对照减少 38.89% (图 1)。这说明注射到幼龄降香黄檀体内的 E1B2 可以影响到树高增长,并对树高具有一定的促进作用。胸径增长最多的是 E1B2 处理,为 1.04 cm,比对照提高 24.4%;最少的为 E1B1 处理,为 0.72 cm,比对照减少 15.79% (图 2)。这说明 E1B2 对幼龄降香黄檀的胸径增长也有一定的促进作用。经过对幼龄降香黄檀的试验前和试验后的生长状况分析表明,各处理影响下的树高与胸径的差异均不显著,原因可能有两方面:一方面可能是由于生长调节剂注射后,在注射孔两上传导距离有限,因此对幼龄降香黄檀的的树高和胸径影响有限,另一方面可能是由于试验时间较短,在一年的时间内还很难看出生长调节剂对幼龄降香黄檀生长的影响。

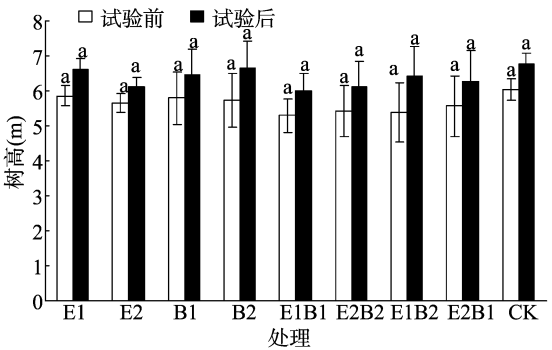


图1 幼龄降香黄檀树高在不同生长调节剂处理下的变化

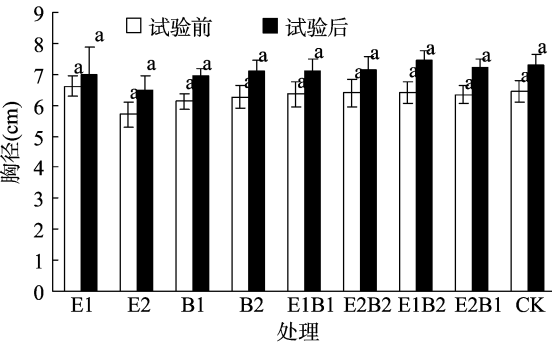


图2 幼龄降香黄檀胸径在不同生长调节剂处理下的变化

2.2 生长调节剂对幼龄降香黄檀心材特性及数量的影响

横坐标数值表示心材横向扩展的距离占树干总宽度的百分比,0 点表示心材中心位置;纵坐标表示心材沿树干纵向扩展的距离,0 点表示取样位置。

试验进行 1 年后,发现各处理的幼龄降香黄檀均形成了心材,新取样品具有辛辣气味。肉眼观察,边材与心材界限比较明显,心材的颜色红褐色至深红褐色或者紫红褐色,深浅不均匀,掺杂有黑色条纹,边材为灰黄褐色或浅黄褐色。与已有报道的自然条件下形成的心材颜色接近^[1]。另外施加生长调节剂的处理产生的心材颜色均比对照深。由此可知,在生长调节剂作用下,促进了幼龄降香黄檀心材的形成。

对各种生长调节剂处理促进形成的心材纵截面扩展范围

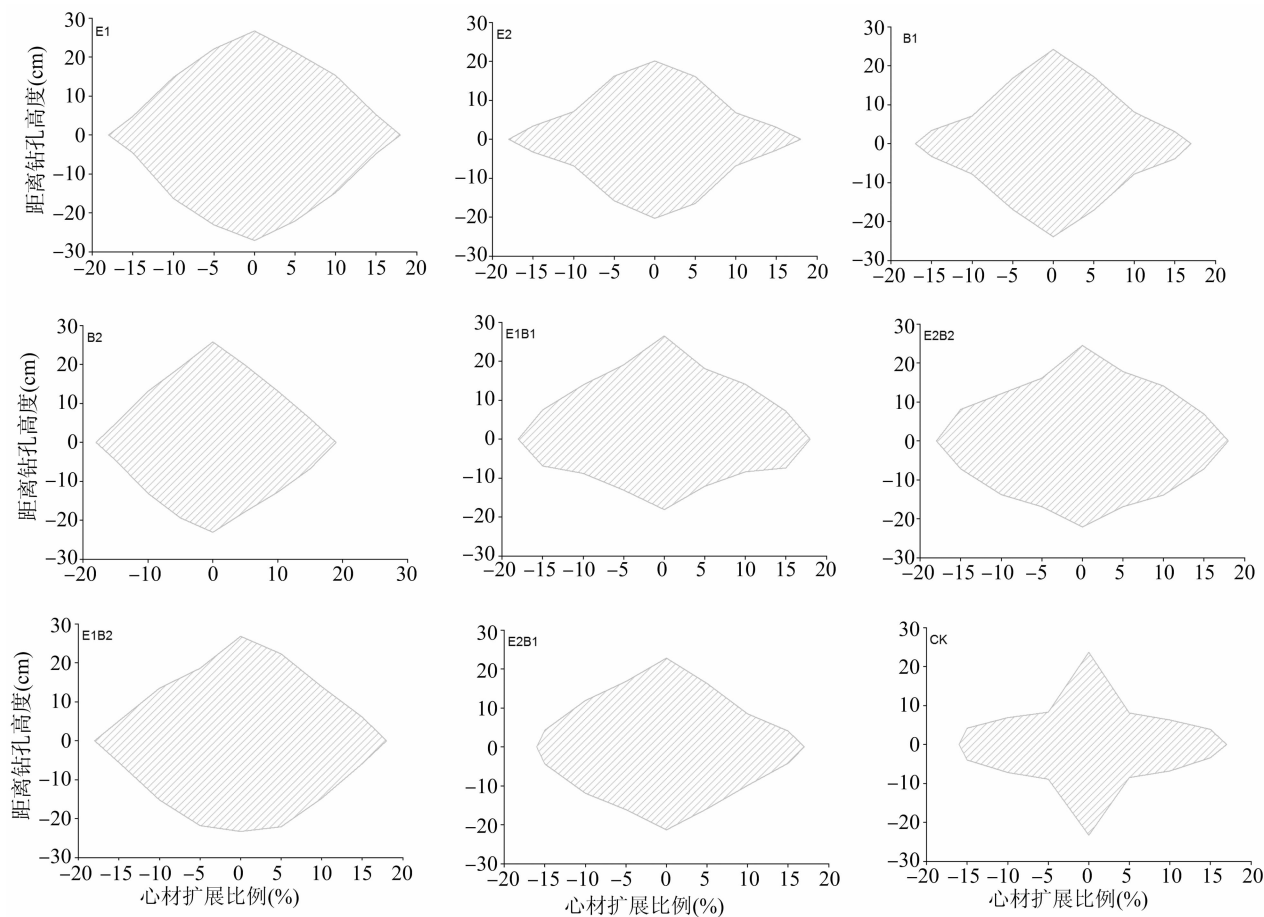


图3 不同生长调节剂处理促进形成的降香黄檀心材扩展模拟

2.3 生长调节剂对幼龄降香黄檀心材挥发油含量的影响

如图 4 所示,幼龄降香黄檀心材挥发油含量在不同生长调节剂作用下均具有一定程度的变化。除 E1、E2、B2 处理的心材挥发油相对含量差异不显著之外,其余各处理差异显著 ($P < 0.05$);除 B2、E2B2、E1B2 处理之间, E1、B1 处理之间以及 E2、E1B1、E2B1 处理之间的心材挥发油绝对含量差异不显著之外,其余各处理之间差异显著 ($P < 0.05$)。E1B2 处理的心材挥发油含量最高,平均相对含量为 5.96%,平均绝对含量为 7.92%,分别比对照高 83.38% 和 48.59%,并且达到显著水平,这表明 E1B2 处理有利于幼龄降香黄檀心材挥发油的增加。所有处理中,对照处理的挥发油含量最低,且与其他处理差异显著,这表明本试验所采用不同品种和浓度的植物

进行模拟作图(图 3)。可以看出,在不同植物生长调节剂处理促进产生的心材中,其中 E1 处理的面积最大,自钻孔处向上、向下扩展的平均最远距离分别为 26 cm 和 27 cm,横向扩展的最大比例为 18%;最小是 E2 处理,自钻孔处向上、向下扩展的平均最远距离均为 20 cm,横向扩展的最大比例为 18%。对照处理自钻孔处向上、向下扩展的平均最远距离均为 24 cm,横向扩展的最大比例为 17%。各处理心材分布范围均未超过钻孔上下 30 cm 范围。各处理心材数量的统计学大小顺序为 $E1 > B2 = E1B2 > E2B2 > B1 > E1B1 > CK > E2 = E2B1$ 。这说明 E1、B2、E1B2、E2B2、B1、E1B1 处理均可以促进幼龄降香黄檀心材的扩展,而 E2 和 E2B1 处理不利于幼龄降香黄檀心材的扩展。

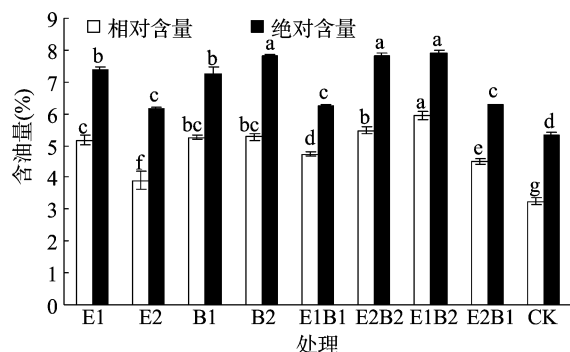


图4 不同的生长调节剂处理对幼龄降香黄檀心材挥发油含量的影响

生长剂均可促进幼龄降香黄檀心材挥发油含量的增加。

2.4 生长调节剂对幼龄降香黄檀心材挥发油质量的影响

促进形成的降香黄檀心材挥发油中有 6 种主要组分,分别为香茅醇、金合欢醇、顺式-橙花叔醇、反式-橙花叔醇、橙花叔醇、氧化石竹烯,将它们与 33 年生降香黄檀心材挥发油

相对比^[8],采用模糊数学中的隶属函数法来判断其质量。可以看出,标准品心材挥发油的主要组分的平均隶属函数值是 0.440 4,与其相比,E1B2 处理促进形成的心材挥发油与 33 年生的降香黄檀心材挥发油最为接近,而 B1 处理促进形成的心材挥发油则相差较大(表 2)。

表 2 不同生长调节剂促进幼龄降香黄檀心材挥发油主要成分与标准品的对比

组分	相对含量(%)									
	E1	E2	B1	B2	E1B1	E2B2	E1B2	E2B1	CK	标准品
香茅醇	16.44	16.12	12.89	13.14	15.65	14.25	15.81	14.18	13.55	12.88
金合欢醇(E,E)	4.12	10.12	15.16	8.71	8.78	8.68	5.68	4.11	8.55	4.49
顺式-橙花叔醇	9.15	11.18	18.17	8.81	12.18	7.48	10.12	8.51	11.23	9.75
反式-橙花叔醇	17.34	14.89	9.12	19.1	14.47	17.14	17.12	13.15	9.11	14.17
橙花叔醇	20.11	15.85	8.48	21.06	13.98	23.1	19.12	25.41	20.63	23.53
氧化石竹烯	7.35	4.95	3.12	6.85	6.61	6.89	3.12	8.12	6.11	9.47
隶属函数值	0.555 7	0.517 0	0.334 0	0.490 7	0.508 6	0.509 9	0.440 4	0.442 2	0.354 9	0.440 4

3 结论与讨论

3.1 降香黄檀树木心材形成时间和机理

降香黄檀在人工规模化种植条件下一般是从第 6 年开始形成心材,此时降香黄檀的胸径在 8~10 cm,而心材的面积与胸径的大小呈正相关^[9]。梁建平等研究发现降香黄檀在 1~6 年内胸径生长保持较高的速度,为 1.3 cm/年,第 6 年达到最大旺盛生长期,此后一直下降,而其心材的出现在第 8 年前后,且心材的出现具有一定的随机性,有时在树体内呈现不连续分布^[15]。

树木心材形成机制的理论或假说有很多种,如内稳态理论^[16]、激素调控理论^[6-7]和微生物感染假说^[17]等。实际上,树木的种植条件、管理的措施、遗传因素都会影响到心材的形成,且不同树木的心材形成原理也不尽相同。

3.2 植物生长剂对幼龄降香黄檀心材形成促进作用的机理

研究发现,植物生长剂的注入种类、注入浓度、注入时间、注入次数的不同,所导致形成的心材是不同的。周双清等将 2% 浓度的乙烯利注入七年生的降香黄檀体内,1 年后对心材挥发油进行分析,其主要成分为橙花叔醇,确证了心材挥发油确实含有降香中药材的主要有效成分^[18]。贾瑞丰将 2% 和 4% 浓度的乙烯利、脱落酸、6-苄氨基腺嘌呤,1% 和 2% 浓度的百草枯 1 年内分 2 次注入幼龄降香黄檀体内,1 年后观察心材形成情况,并测定心材挥发油主要成分,发现在树体中注入浓度为 4% 的脱落酸和 6-苄氨基腺嘌呤,促进幼龄降香黄檀形成的心材挥发油与 33 年生的兜降香黄檀心材挥发油最为接近;然后用 4% 的 6-苄氨基腺嘌呤注入幼龄降香黄檀体内,设置了不同注射频次,结果表明:4 次/年处理的幼龄降香黄檀的心材面积及挥发油含量高于其他处理,其促进形成的心材挥发油与标准品最为接近^[7]。

本试验结果表明:不同种类、不同浓度的植物生长调节剂诱导降香黄檀形成的心材大小、心材挥发油含量等各不相同,分析原因可能是植物内部的激素平衡被注入的植物生长剂打破,从而促进心材的形成。此外,对于只注入了蒸馏水的对照处理,注射过程中对幼龄降香黄檀树体也产生了一定程度的机械性破坏,当树木韧皮部、形成层或心材受到机械损伤时,组氨酸的合成就会受到阻碍,机械损伤同时也会阻止组氨酸的向心运动,从而导致在机械损伤附近形成心材^[7]。

本试验中选用了乙烯利和 6-BA 作为供试植物生长调节剂。乙烯是一种气态的植物调节激素,产生于所有植物组织中,与心材中多酚和抽提物的合成、酶活性的提升等有关^[19]。Nilsson 等用乙烯、氧气、二氧化碳来诱导樟子松产生心材,结果发现,3 种气体均诱导了心材的产生,而充施乙烯诱导形成的的心材数量最多,推测乙烯参与了心材形成过程中的代谢,参与了边材向心材的转化^[5]。6-BA 是一种参与调控植物生长发育、器官形成及精油积累等生理过程的植物生长调节剂。它的主要作用原理是打破内部部分激素的动态平衡,促使心材形成过程中的一些代谢反应受到干扰,加速心材形成^[20]。刘小金研究发现通过在树干注射生长调节剂乙烯利和 6-BA 能促进幼龄檀香形成心材,且心材精油含量较高^[8]。

通过对植物生长调节剂生物化学特性研究发现,其发挥特定生理功能的机制非常复杂,对于促进树木心材形成的作用来看,它们进入植物体内,刺激植物内源激素的合成、活性与水平的调节和运输,以及膜受体结合转化,从而调控树木体内的激素平衡和激素反应,从空间和时间上改变植物某些局部组织的微观结构,促进了边材向心材的转化。当 2 种以上的植物生长调节剂共同作用于植物体时,体内的多种内源激素合成、分解及活性将受到影响,因而 2 种以上植物生长调节剂混用时,其共同作用的生理效果往往并不是各自效果的简单相加,有时甚至会产生拮抗的效果。2 种不同的植物生长调节剂混用之后,在植物体内也表现出不同的生理效能。不同植物生长调节剂之间存在相互协同或对抗的关系^[21]。例如,Peters 等在湿地松(*Pinus elliotii*)茎干上混合施用乙烯利和甲基紫精,两者会产生协同作用,大大增加湿地松树脂的产量^[22]。这与本试验结论相一致。

本试验是根据前人的研究成果,在贾瑞丰试验的基础上进行的优化设计,选取 2%、4% 浓度的 ETH、6-BA 进行全面试验组合,在 1 年内 4 次对幼龄降香黄檀树干进行注射,最后发现植物生长剂在本试验时间内并未对树高和胸径生长产生显著作用,而 2% ETH 促进形成的的心材面积最大,2% ETH + 4% 6-BA 有利于心材挥发油的累积,并且与降香黄檀心材标准品最为接近。

3.3 本试验中存在的不足之处

本试验都是在野外进行,存在诸多的不确定因素,尤其是极端天气对本试验的影响较大。试验的周期受到条件的限

制,也存在不足的情况。此外受到试验经费的限制,采取了模拟取样的方法,必然会存在一定的误差。此外由于标准样品的匮乏,仅选择贾瑞丰试验中使用的广西凭祥 33 年生的降香黄檀树干心材作为对照,必然会给试验带来误差。因此目前亟待建立比较完善的降香黄檀心材挥发油标准体系,为后续的研究提供参照依据。

参考文献:

- [1] 高兆蔚. 中国特有珍贵用材树种降香黄檀及其木材利用[M]. 厦门:厦门大学出版社,2014:11.
- [2] 倪 臻,王凌晖,吴国欣,等. 降香黄檀引种栽培技术研究概述[J]. 福建林业科技,2008,35(2):265-268.
- [3] 吴可克,王 舫. 中药降香对酪氨酸酶激活作用的动力学研究[J]. 日用化学工业,2003,33(3):204-206.
- [4] 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.
- [5] Nilsson M, Wikman S, Eklund L. Induction of discolored wood in Scots pine (*Pinus sylvestris*) [J]. Tree Physiology, 2002, 22(5): 331-338.
- [6] 林奇艺,蔡岳文,袁 亮,等. 外界刺激檀香“结香”试验研究[J]. 中药材,2000,23(7):376-377.
- [7] 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.
- [8] 刘小金. 檀香精油成分组成、分布以及人工促进心材形成的研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2012.
- [9] 陈水莲,梁远楠,周 莹,等. 降香黄檀心材与树龄关系研究[J]. 南方农业,2016,10(4):43-45.
- [10] 孟 慧,杨 云,陈 波,等. 外界刺激降香黄檀心材类物质形成[C]//第八届全国药用植物及植物药学术研讨会论文集. 呼和浩特,2009:86.
- [11] Radomiljac A M. *Santalum album* L. plantations; a complex interaction between parasite and host [D]. Western Australia: Murdoch University,1998:154-181.
- [12] Nair M N B, Shah J J. Histochemistry of paraquat treated wood in *Azadirachta - indica* A. Juss [J]. Iawa Bulletin, 1983, 4(4): 249-254.
- [13] 蓝贤军. 降香挥发油薄层色谱鉴别[J]. 基层中药杂志,2000,14(2):27.
- [14] 付宝春,薄 伟. 玉簪抗旱性隶属函数及主要成分分析[J]. 草地学报,2014,22(6):1324-1330.
- [15] 梁建平,蒋军林,秦武明,等. 广西南宁 46 年生降香黄檀人工林生长规律[J]. 浙江农林大学学报,2015,32(4):523-528.
- [16] Gartner B L. Stem hydraulic properties of vines VS. shrubs of western poison oak [J]. Toxicodendron Diversilobum Oecologia, 1991,87(2):180-189.
- [17] Bechman C H. Phenolic - storing cells: keys to programmed cell death and periderm formation in wilt disease resistance and in general defence responses in plants[J]. Physiological and Molecular Plant Pathology,2000,57(3):311-320.
- [18] 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,2014,42(3):8-10.
- [19] Hillis W E. Heartwood and tree exudates [D]. Berlin, Germany: Springer - Verlag,1987:268.
- [20] Barclay G F, Mc David C R. Effect of benzylaminopurine on fruit set and seed development in pigeon pea (*Cajanus cajan*) [J]. Scientia Horticulturae,1998,72(2):81-86.
- [21] 袁 晶,汪俏梅,张海峰. 植物激素信号之间的相互作用[J]. 细胞生物学杂志,2005,27(3):325-328.
- [22] Peters W J, Roberts D R, Munson J Q. Ethrel, diquat, paraquat interaction in lightwood formation [C]. Meeting Lightwood Research Coordinating Council,1978:31-39.

(上接第 78 页)

- [7] 廖佳丽,徐福利,赵世伟. 宁南山区施肥对马铃薯生长发育、产量及品质的影响[J]. 中国土壤与肥料,2009(4):48-52.
- [8] 冯瑞萍,李剑萍,齐旭峰. 宁夏马铃薯产量、面积的时空分布和变化特征分析[J]. 农业科技与信息,2009(5):3-5.
- [9] 王荣华,马仁彪,韩兴斌,等. 西吉县马铃薯施肥现状评价与对策[J]. 宁夏农林科技,2008(6):69-70.
- [10] 张西露,刘明月,伍状生,等. 马铃薯对氮、磷、钾的吸收及分配规律研究进展[J]. 中国马铃薯,2010,24(4):237-241.
- [11] 何文寿. 宁夏植物营养与肥料研究现状与展望[J]. 农业科学研究,2013,34(1):54-60.
- [12] 杜守宇,杜 伟. 宁夏南部山区及中部干旱带马铃薯栽培技术的发展现状、问题及对策[J]. 中国马铃薯,2008,22(5):309-311.
- [13] Tuber growth and biomass partitioning of two potato cultivars grown under different N fertilization rates with and without irrigation [J]. Amer J of Potato Res,2001,78(2):109-117.
- [14] 赵 营,郭鑫年,赵护兵,等. 宁夏南部山区马铃薯施肥现状与评价[J]. 中国马铃薯,2013,27(5):281-287.
- [15] 孙 磊,王 弘,李明月,等. 氮磷钾肥施用量及施用时期对马铃薯干物质积累与分配的影响[J]. 作物杂志,2014(1):132-136.
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,1999.
- [17] 何文寿. 植物营养学通论[M]. 银川:宁夏人民出版社,2004.
- [18] 陆景陵. 植物营养学(上册)[M]. 北京:中国农业大学出版社,2003,48-60.
- [19] 王 蓉,何文寿,马玉波,等. 氮素用量对油葵氮磷钾养分吸收积累及产量的影响[J]. 中国油料学报,2014,36(4):494-501.
- [20] 王耀科,何文寿,任 然,等. 宁夏扬黄灌区马铃薯养分吸收积累特征[J]. 农业科学研究,2015,36(2):27-32.
- [21] 谷浏涟,孙 磊,石 瑛,等. 氮肥施用时期对马铃薯干物质积累转运及产量的影响[J]. 土壤,2013,45(4):610-615.
- [22] 何文寿,马 琨,代晓华,等. 宁夏马铃薯氮、磷、钾养分的吸收累积特征[J]. 植物营养与肥料学报,2014,20(6):1477-1487.
- [23] 高聚林,刘克礼,张宝林,等. 马铃薯干物质积累与分配规律的研究[J]. 中国马铃薯,2003,17(4):209-212.
- [24] 杨进荣,王成社,李景琦,等. 马铃薯干物质积累及分配规律研究[J]. 西北农业学报,2004,13(3):118-120.
- [25] 张洪秀,陈 红,曹先维,等. 惠东县冬作马铃薯施肥状况调查分析[J]. 广东农业科学,2011(22):53-55.
- [26] 康小华,蔡立群,卢建武,等. 不同施肥水平对马铃薯干物质积累和产量的后效影响[J]. 广东农业科学,2012(8):71-73.
- [27] 殷 文,孙春明,马晓燕,等. 钾肥不同用量对马铃薯产量及品质的效应[J]. 土壤肥料,2005(4):44-47.
- [28] 张永成,纳添仓,阮建平,等. 马铃薯高产施肥措施研究[J]. 中国马铃薯,2001,15(5):274-277.
- [29] 冯瑞琴,田 丰. 氮钾肥配施对马铃薯产量的影响[J]. 青海大学学报(自然科学版),2005,23(4):44-46.